



TESI DE MÀSTER

Màster

Màster en Enginyeria Ambiental

Títol

**Mesura dels gasos d'efecte hivernacle en aiguamolls
construïts en funció del tractament primari**

Autor

Marina Buendía Capdevila

Tutor

Jaume Puigagut Juarez

Intensificació

Data

Juny 2013

*Per a tots i cadascú dels qui estimo
i mai oblidaré:*

*"Algunes persones miren al món i
diue: Per què?...Altres miren al
món i diuen: Per què no?"*

"Pensa, creu, somnia i atreveix-te"

RESUM

Com el seu nom indica, els aiguamolls construïts són uns sistemes de depuració d'aigua, que han sigut construïts a zones on no existien. L'objectiu principal d'aquests és la depuració de l'aigua residual provinent dels pobles i ciutats (de no més de 2000 habitants equivalents). Estan formats per unes bases o llacunes amb una profunditat petita, que poden estar o no omplerts d'un medi granular, dins el qual es pot desenvolupar vegetació que juga un paper fonamental en el tractament de l'aigua. La depuració de l'aigua tractada es duu a terme gràcies a una sèrie de processos físics, químics i biològics. Aquests estan considerats com els sistemes de depuració d'aigua més eficients que existeixen, ja que simulen el comportament dels aiguamolls naturals. Aquests es presenten com una alternativa als sistemes de depuració convencionals.

Durant els processos físics, químics i biològics, que és on s'origina el procés d'eliminació de la matèria orgànica es crea un tipus d'emissió de gasos d'efecte hivernacle, amb la presència de metà (CH_4) i d'òxid nitrós (N_2O). Aquests dos gasos contribueixen al procés del canvi climàtic, ja que tenen un alt potencial d'escalfament, sent en major part l'òxid nitrós més potent que el metà. És per aquesta raó, que es interessant estudiar el comportament de les emissions d'aquests dos gasos i veure quins efectes poden causar sobre el canvi climàtic.

Aquesta tesina s'ha basat, com bé indica el seu nom, en la mesura dels gasos d'efecte hivernacle en aiguamolls construïts en funció del tractament primari. És a dir, en primer lloc en determinar i quantificar l'emissió d'un dels gasos d'efecte hivernacle per excel·lència, com és el metà (CH_4), i per altra banda, comparar aquestes emissions en funció de dos tipus diferents de tractaments primaris als qual se li sotmet a l'aigua abans de ser depurada. Aquests tractaments són una decantació simple i l'altre, un sistema d'hidròlisi de la matèria orgànica que conté l'aigua, a través d'un H.U.S.B. (reactor hidrolític amb llit de fang de flux ascendent).

Per a dur a terme aquest estudi s'han realitzat diferents tipus d'assajos utilitzant 4 aiguamolls construïts, dos dels quals alimentats amb aigua tractada prèviament amb una decantació simple, i els altres dos alimentats amb aigua provinent del H.U.S.B. Aquests assajos han sigut una sèrie d'extraccions de mostres de l'emissió dels aiguamolls, les quals han sigut acumulades dins una cambra construïda, a una tesina passada, especialment per aquest estudi. Aquestes mostres han sigut extretes a diferents temps d'extraccions a 0, 10, 20, 30 i 40 minuts i a 0, 5, 10, 15 i 20 minuts. Cal recalcar que en aquest estudi les emissions de metà han

seguit la tendència esperada, és a dir, que la concentració de metà augmenta de manera proporcional amb el temps. Però aquesta proporcionalitat encara podria haver sigut millor, ja que es creu que les dimensions de la cambra impedièren la perfecta acumulació del metà dins aquesta.

Per altra banda, al laboratori també s'han realitzat diferents assajos amb els quals s'ha volgut simular el comportament que presenten els aiguamolls en referència a les emissions, ja que s'han trobat problemes de no homogeneïtzació de les emissions dins la cambra. Per a dur a terme aquest apartat de la tesina, s'ha construït un muntatge format per una cambra amb tres diferents punts d'extracció i amb un ventilador, que té la funció de remoure e intentar homogeneïtzar l'aire dins la cambra. Per això a aquests assajos s'han volgut controlar diferents tipus de variables com: la quantitat de metà introduïda a la cambra, la manera de remoure l'aire dins la cambra, el temps de mostreig i la manera i ordre d'extracció de les mostres. Tot i així, encara no s'ha pogut desxifrar quin és el motiu d'aquesta no homogeneïtzació. Els resultats obtinguts mostren el baix grau d'homogeneïtzació del metà dins la cambra.

PARAULES CLAU:

Aiguamolls construïts	Emissions de metà	Tractaments físico-químics
Cambra estàtica	Aigua residual	Tractament primari

Agraïments:

En primer lloc vull donar les gràcies a les cinc persones més importants de la meua vida, com és la meua família, mama, papa, Jordi, Mònica i Marc, que sense vosaltres no puc entendre una altra manera de vida que no sigui amb amor i felicitat. Gràcies per donar-me cadascun dels moments tan meravellosos que em feu viure.

En segon lloc vull donar les gràcies al Jaume Puigagut, tutor d'aquesta tesina, el que m'ha ajudat durant tot aquest any i m'ha facilitat les coses tant com ha pogut. Gràcies per la teua paciència i comprensió.

No em vull oblidar tampoc de totes aquelles persones que, d'una o altra manera, han aportat un petit gra de sorra en aquest període tan especial.

A tots els companys amb els que he pogut compartir aquest màster. Gràcies per la vostra companyia i gràcies per venir de tantes i tantes bandes del món i haver-me ensenyat nous costums i formes diferents de veure la vida. Però en especial m'agradaria agrair a tots i cadascun de Los Guayos, Alba, Queralt, Toba, Alejandro, Laura, Maheri, Lucho i Xabi. Heu fet que aquest màster hagi sigut intens al màxim i l'hagi gaudit més del que m'hagués imaginat. Gràcies per tants i tants bons moments, i sobretot per haver rigut tant. No oblidaré mai els nostres moments de bars, les nostres partides al Dixit i les nostres "Galas de la rusa de oro". Sou collonuts i mai us oblidaré.... !QUE LOS GUAYOS NUNCA MUERAN!

Gràcies també vull donar, a les meves nenes Alba i Saray, per ser tant bones amigues i per donar-me suport sempre que l'he necessitat. Gràcies per seguir amb mi des de petites.

No vull oblidar-me de tota la meua gent d'Almeria, en especial de María una gran amiga amb la que em sento molt unida. I sobretot de tota la gent de Las Negras City amb la que a diari comparteixo tant bons moments, encara que estiguem separats.

Un petit agraïment per a Juana i María, companyes de carrera i amigues, que encara que estiguem lluny us portaré sempre al meu record. Gràcies per tots els fantàstics moments que hem viscut.

Però sobretot gràcies a tu Jordi, sense tu aquesta vida no té sentit. Gràcies pel suport incondicional que m'has donat. Gràcies per aquests 11 anys tan meravellosos, per la teua paciència, la teua companyia, les nostres converses, bromes i, tants i tants, bons moments que hem viscut i que ens queden per viure. Agrair-te el feliç que em fas la vida...NO M'IMAGINO UNA VIDA SENSE TU!

A tots, de veritat i de cor, moltes gràcies perquè sense cadascun de vosaltres, tot això no hagués sigut tan fàcil, tan distret i tan positiu.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	pàg. 1
2. OBJECTIUS.....	pàg. 3
3. ELS AIGUAMOLLS CONSTRUÏTS.....	pàg. 5
3.1. Tipus d'aiguamolls.....	pàg. 7
3.1.1. Els aiguamolls de flux superficial.....	pàg. 7
3.1.2. Els aiguamolls de flux subsuperficial.....	pàg. 7
3.2. Funcionament i estructura dels aiguamolls subsuperficials.....	pàg. 9
3.2.1. El medi granular.....	pàg. 9
3.2.2. Les plantes.....	pàg. 10
3.2.3. Els microorganismes.....	pàg. 11
3.2.4. Distribució i recollida d'aigües.....	pàg. 11
3.3. Mecanismes d'eliminació dels agents contaminants.....	pàg. 12
3.3.1. Eliminació de la matèria en suspensió (MES).....	pàg. 13
3.3.2. Eliminació de la Matèria Orgànica (MO).....	pàg. 13
3.3.3. Eliminació del Nitrogen.....	pàg. 15
3.3.4. Eliminació del fòsfor.....	pàg. 15
3.4. Criteris per al disseny d'aiguamolls construïts.....	pàg. 16
4. L'AIGUA I ELS TRACTAMENTS PREVIS A LA DEPURACIÓ	pàg. 19
4.1 Tractament primari	pàg. 20
4.1.1. Flotació	pàg. 20
4.1.2. Coagulació- floculació	pàg. 20
4.1.3. Filtració	pàg. 21
4.1.4. Decantació	pàg. 21
4.1.5. Reactors biològics	pàg. 22
5. ELS GASOS D'EFFECTE HIVERNACLE: EMISSIÓ.....	pàg. 25
5.1. Emissions de gasos d'efecte hivernacle en aiguamolls.....	pàg. 25
5.1.1. Les emissions CH ₄	pàg. 26
5.1.2. Les emissions de N ₂ O.....	pàg. 26
6. TÈCNICA DE MESURA DELS GASOS: LES CAMBRES	pàg. 29
6.1. Paràmetres clau per al disseny de cambres.....	pàg. 31
6.1.1. Material i forma	pàg. 31
6.1.2. Ventilador	pàg. 31
6.1.3. Tub de connexió a l'atmosfera.....	pàg. 31
6.1.4. Temps de mesura	pàg. 32
6.1.5. Temperatura	pàg. 32
6.2. Característiques de la cambra utilitzada	pàg. 32

7. ELS AIGUAMOLLS CONSTRUÏTS UTILITZATS	pàg. 35
7.1. Esquema de la planta utilitzada	pàg. 35
7.2. Característiques generals de la planta.....	pàg. 37
7.2.1. Adaptació del mètode de la cambra estàtica per a la determinació d'emissions de gasos d'efecte hivernacle en aiguamolls construïts.....	pàg. 38
8. PART EXPERIMENTAL: MATERIAL I MÈTODES	pàg. 41
8.1. ESTUDI 1	pàg. 41
8.1.1. Caracterització de l'aigua residual tractada.....	pàg. 41
8.1.1.1. Quantificació de la MES	pàg. 42
8.1.1.2. Quantificació d'amoni.....	pàg. 42
8.1.1.3. Quantificació de DQO total	pàg. 45
8.1.2. El rendiment d'eliminació	pàg. 47
8.2. ESTUDI 2	pàg. 47
8.2.1. Quantificació de les emissions de metà. Simulació al laboratori.....	pàg. 48
8.2.1.1. Experiment 1. Homogenització vers potència ventilador.....	pàg. 51
8.2.1.2.. Experiment 2. Homogenització vers potencia ventilador amb extracció única (tub foradat).....	pàg. 52
8.2.1.3. Experiment 3. Homogenització vers potència amb tubs retallats	pàg. 53
8.3. ESTUDI 3	pàg. 54
8.3.1. Metodologia dels assajos	pàg. 56
8.4. Obtenció dels resultats	pàg. 57
8.4.1. Creació recta patró de metà	pàg. 59
8.4.2. Càlcul de la massa de metà de les mostres	pàg. 59
9. RESULTATS I DISCUSSIÓ	pàg. 61
9.1. ESTUDI 1	pàg. 61
9.1.1. Caracterització de l'aigua residual tractada.....	pàg. 61
9.1.1.1. Quantificació de la MES	pàg. 61
9.1.1.2. Quantificació d'amoni.....	pàg. 63
9.1.1.3. Quantificació de DQO total	pàg. 66
9.2. ESTUDI 2	pàg. 68
9.2.1. Quantificació de les emissions de metà. Simulació al laboratori.....	pàg. 68
9.2.1.1. Experiment 1. Homogenització vers potència ventilador.....	pàg. 68
9.2.1.2.. Experiment 2. Homogenització vers potencia ventilador amb extracció única (tub foradat).....	pàg. 71

9.2.1.3. Experiment 3. Homogenització vers potència amb tubs retallats	pàg. 73
9.2.2. Resum gràfic dels assajos d'aquest estudi	pàg. 74
9.3. ESTUDI 3	pàg. 80
10. CONCLUSIONS	pàg. 85
11. RECOMANACIONS	pàg. 87
12. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	pàg. 89

1. INTRODUCCIÓ

En un marc social com en el que ens trobem ara, on la població del planeta creix a passos accelerats i, com a conseqüència, la demanda d'aigua també ho ha fet proporcionalment, la societat es veu obligada a gestionar de manera sostenible l'aigua que ens proporciona el nostre planeta. Tot això encara més es veu agreujat per l'escassetat d'aigua que presenta el nostre planeta i el mal ús que n'estem fent d'ella. És per això, que cada cop mostrem més interès en investigar possibles mètodes, tractaments i tecnologies que ens ajudin a aprofitar l'aigua un cop s'hagi utilitzat.

És aquí on entren en joc els aiguamolls construïts, que són uns sistemes que serveixen com a tractament de l'aigua residual dels pobles i ciutats (no més grans de 2000 habitants equivalents). Aquest tractament, no és més que una depuració natural de l'aigua, que veu degradada la seva matèria orgànica gracies a la combinació de diferents processos biològics, físics i químics, a l'interior d'aquests.

Aquest tipus de tractament de l'aigua cada vegada s'està implantant a més llocs del món, ja que s'ha provat que ofereixen un rendiment molt bo alhora de depurar l'aigua residual. És per això que constitueixen una alternativa fiable als sistemes convencionals de tractaments d'aigües. A més s'ha demostrat que, a diferència dels tractaments convencionals, aquests ofereixen una "tecnologia verda", ja que per a depurar l'aigua no s'ha d'utilitzar cap aportació energètica, ni cap substància química.

Com a tot procés de depuració, durant la degradació de la matèria orgànica, es generen tot un seguit de gasos que van a parar a l'atmosfera. Aquests gasos no són més que el metà (CH_4) i l'òxid nitrós (N_2O), i tenen molta importància, ambientalment parlant, ja que són els gasos d'efecte hivernacle per excel·lència. Com aquests gasos presenten un elevat potencial d'escalfament, en major part el metà, abans de començar a estendre arreu del món aquest tipus de tractament, s'haurà d'observar i entendre ben bé el funcionament d'aquests i estudiar les possibles emissions que tenen i poder conèixer quins són els efectes que generen sobre el canvi climàtic.

D'estudis d'aquests ja se n'han fet a molts països nòrdics, però aquests no són d'aplicació general a tot el món, ja que una de les variables que més afecta en les emissions és la temperatura. Per aquesta raó, es necessitaria fer estudis d'aquests a països on les temperatures fossin més càlides. S'ha de ressaltar que tots aquests estudis són de difícil control, ja que hi ha molts altres factors que influeixen en la quantificació d'aquests gasos, com són el règim hidràulic que es presenti, la vegetació i el vent.

2. OBJECTIUS

El principal objectiu d'aquesta treball és el de determinar les emissions dels gasos d'efecte hivernacles en aiguamolls construïts en funció del tractament primari.

Existeixen tot un seguit d'objectius, ja de caire més secundari, que han aportat quelcom per a poder dur a terme i abordar l'objectiu principal, com són els següents

- Posar a punt la planta pilot. És a dir, fer les pertinents modificacions necessàries per a que la planta pilot estigui totalment preparada per a poder ser utilitzada per a determinar les emissions de gasos d'efecte hivernacle dels aiguamolls construïts.
- Fer el seguiment setmanal de la planta pilot per a corroborar el seu bon funcionament i aconseguir posar a punt el mètode.
- Fer simulacions al laboratori, amb un petit muntatge que representa l'estructura i comportament d'un aiguamoll, a través del que es vol estudiar el fenomen de l'estratificació del metà dins una cambra estàtica.
- Estudiar quin tipus de tractament primari és més eficient en la depuració d'aigües a través d'aiguamolls construïts. Els dos tipus de tractaments primaris estudiats són una decantació simple i un reactor hidrolític amb llit de fangs de flux ascendent (H.U.S.B.).

3. ELS AIGUAMOLLS CONSTRUÏTS

Degut a l'augment de la població al nostre planeta i al model de vida que porta la nostra societat, ha crescut molt la necessitat de consumir aigua, la demanda d'aquesta, i com a conseqüència d'això, ha augmentat de manera dràstica la quantitat d'aigua residual generada tant en pobles com en grans ciutats. Als temps que corren on degut al canvi climàtic i a que cada cop som més individus, les reserves hídriques del planeta cada cop són més escasses i cada cop tenim menys accés a l'aigua.

Aquesta problemàtica i la nostra total dependència vers l'aigua ha originat que sorgeixin canvis i nous pensaments referents a la conservació d'aquest recurs tant desitjat per tots. Per això des de fa bastants anys, s'estan implantant nous mètodes i tractaments que regeneren i li tornen a donar les seves propietats òptimes a l'aigua que nosaltres utilitzem, a l'aigua residual.

Gràcies a tots aquests mètodes, sistemes, mecanismes, tecnologies i tractaments, que són als que nosaltres estem acostumats a denominar tractaments convencionals de depuració d'aigua, s'ha aconseguit tornar a optimitzar les propietats de l'aigua i així reintroduir-la un cop més dins el seu cicle i així poder-la tornar a utilitzar.

Tot i això, amb el pas dels anys i gràcies a la motivació d'una part de la societat, mitjançant estudis i experiments, s'ha descobert que existeix una "tecnologia més verda" i natural de depuradora d'aigua residual. És aquí on entren en joc els aiguamolls. Així que ara ja es coneixen dues maneres diferents de sistemes de depuració d'aigua: els sistemes convencionals i els naturals.

Es troben grans e importants diferències entre aquest dos sistemes:

Els sistemes de tractament d'aigua convencionals, són tots aquests complexos de construccions amb grans basses i que fan tanta pudor, que estem acostumats a veure a prop d'un gran nucli de població i generalment a tocar d'un riu com són, les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR).

La part positiva d'aquest tipus de sistemes es que necessiten poca superfície per al tractament de grans quantitats d'aigua, però per altra banda, i com a part negativa, per a dur a

terme la depuració de l'aigua, fan servir nombrosos agents químics que generen residus i contaminen altres àmbits del nostre planeta. A més, necessiten una aportació energètica abismal i a la vegada generen un impacte visual important, i una molèstia a les poblacions de les rodalies en referència a l'olor que desprèn l'aigua residual que han de tractar.

Els sistemes de depuració naturals, dins on es troben els aiguamolls construïts són una excel·lent elecció, ja que tot i que necessitin d'una elevada extensió de superfície, per a tractar les mateixes quantitats d'aigua que els sistemes convencionals, no necessiten cap aportació energètica, ni cap agent químic per a dur a terme el procés. Entre d'altres avantatges també es pot trobar que tenen una bona integració amb el medi, afavoreixen la vida salvatge i que tenen una baixa generació de residus. Com a únics inconvenients es troben la generació de gasos d'efecte hivernacle i la colmatació del sistema.

Els aiguamolls construïts, són tal i com defineix, García et al. (2004), uns sistemes passius de depuració, constituïts per llacunes o canals de profunditat inferior a 1m. Aquests sistemes estan plantats amb espècies vegetals pròpies de les zones humides i en ells s'hi produeixen processos per a la descontaminació de l'aigua residual. Tals processos són executats simultàniament per components físics, químics i biològics a mesura que l'aigua circula a través de l'aiguamoll.

Un apunt molt interessant és que els aiguamolls construïts no estan destinats a depurar només un tipus d'aigua, si no que depenent del disseny que tinguin són capaços de depurar tot tipus d'aigües, tant residual urbana i domèstica, com industrial, de fangs de depuradora, d'escolament agrícola i de lixiviats d'abocadors.

A continuació es mostren tres fotografies de cadascun dels sistemes de depuració d'aigua dels que s'acaba de introduir en aquest apartat.



Figura 1. Fotografia aèria d'un sistema convencional de depuració d'aigües residuals.



Figura 2. Fotografia aèria d'un aiguamoll natural .



Figura 3. Fotografia aèria d'un aiguamoll construït

3.1. Tipus d'aiguamolls

Dins el món dels aiguamolls podem trobar dos tipus diferents de sistemes de depuració d'aigua com són: Els aiguamolls de flux superficial (*surface flow constructed wetlands*) i els aiguamolls de flux subsuperficial (*subsurface flow constructed wetlands*).

3.1.1. Els aiguamolls de flux superficial

Són iguals que les llacunes convencionals que tots coneixem però amb una profunditat inferior (no més de 0.4m). Aquest tipus d'aiguamolls s'utilitzen per al tractament terciari de l'aigua residual, un cop ha passat per la depuradora.

El seu funcionament i estructura és molt senzill. Es tracta d'un sistema de llacunes excavades que està obert a l'atmosfera, és a dir en contacte amb ella, on hi ha plantes arrelades al fons, i on l'aigua circula a través d'elles. És un sistema que per evitar que s'infiltri aigua externa als aiguamolls, ha d'estar ben aïllat del terreny.

3.1.2. Els aiguamolls de flux subsuperficial

A diferència dels anteriors aiguamolls, aquests tracten l'efluent primari de l'aigua residual i són idèntics als sistemes clàssics de infiltració del terreny.

És per això, que la diferència més notable és que en aquests casos l'aigua circula de manera subterrània (no està en contacte amb l'atmosfera) a través de les arrels de les plantes i d'un medi granular. La funció del medi granular és aportar una gran superfície per a que creixin

els microorganismes que faciliten la depuració. També es troba diferència en quant a la profunditat de la làmina d'aigua, ja que en aquests pot oscil·lar entre 0.3 i 0.9 m.

Dins de l'estructura d'aiguamolls subsuperficials es troben dos tipus més segons el seu flux: *aiguamolls subsuperficials de flux vertical i aiguamolls subsuperficials de flux horitzontal*.

Els aiguamolls de flux vertical, com el seu nom indica, l'aigua circula en direcció vertical. Aquests ofereixen una capacitat de tractament d'aigua més elevada que els de flux horitzontal, degut a que necessiten menys superfície per a tractar més quantitat d'aigua, i a més, l'aigua els hi entra de manera intermitent.

Els aiguamolls de flux horitzontal, a diferència dels anteriors estan constantment inundats i a més depenen de la vegetació, del medi granular, del tipus d'impermeabilització, i s'ha de parlar molta cura amb els controls dels nivells de l'aigua, degut a la constant inundació.

A continuació a la Figura 3 es mostren dues fotografies de cadascun dels exemples explicats:

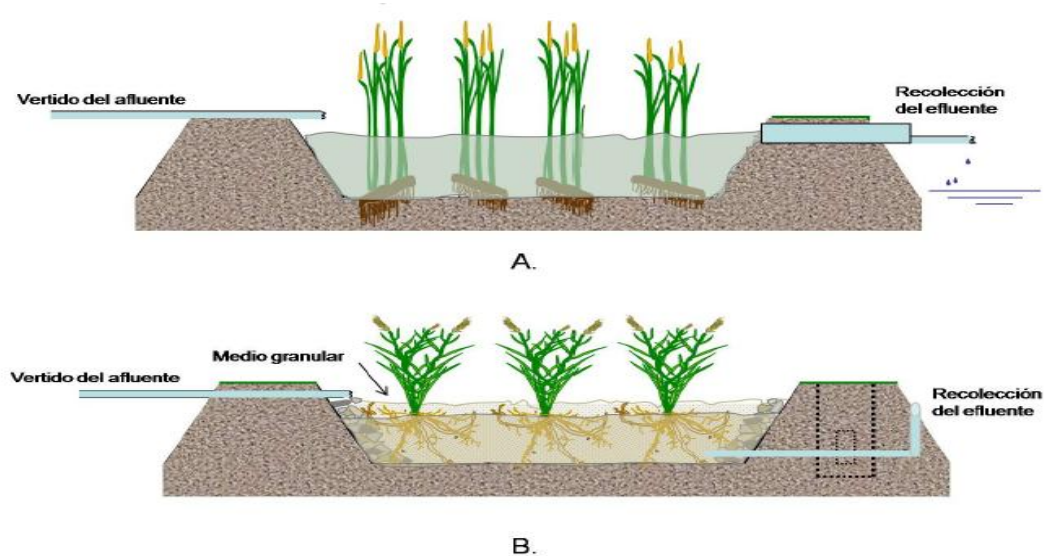


Figura 4. A: esquema d'un aiguamoll de flux superficial; B: esquema d'un aiguamoll de flux subsuperficial. Font: García et al (2008)

Seguidament es procedeix a fer un llistat de les avantatges e inconvenients que presenten els aiguamolls de flux subsuperficial sobre els de flux superficial.

- AVANTATGES

- Ø Admeten més càrrega orgànica, és a dir que tenen més capacitat per a tractar aigua.
- Ø Tenen menor incidència de males olors ja que el flux és subterrani.
- Ø No necessiten tanta superfície per a tractar la mateixa quantitat d'aigua.
- Ø El risc d'exposició directe de les persones i d'aparició d'insectes és menor.
- Ø L'acumulació de restes vegetals i el fet de ser subterrani, protegeix tèrmicament el flux i evita la aparició de gradients tèrmics acusats. Aquesta propietat és especialment important als països nòrdics, ja que d'aquesta forma, la neu i el gel no afecten el funcionament de l'aiguamoll.

- INCONVENIENTS

- Ø Tenen un valor inferior com a ecosistemes per a la vida salvatge ja que l'aigua es dificilment accessible per a la fauna.
- Ø El cost de construcció és superior degut a l'existència del material granular.

3.2. Funcionament i estructura de cada component dels aiguamolls subsuperficials

Tots els aiguamolls subsuperficials estan formats pels mateixos components i funcionen de la mateixa manera. A continuació es procedeix a explicar cada un dels seus components i de quina manera treballen.

3.2.1. El medi granular

És una de les zones més importants del procés de depuració, conjuntament amb les plantes i la biopel·lícula. És aquesta zona l'encarregada d'eliminar tots els agents contaminants que conté l'aigua residual, tot combinant processos biològics, físics i químics. Aquí es generen processos de retenció i sedimentació de la matèria en suspensió que conté l'aigua i la posterior degradació de la matèria orgànica, transformació i assimilació de nutrients i la inactivació dels microorganismes patògens.

Existeixen diferents tipus de medis granulars, segons el diàmetre de la grava, ja que depenen del règim hidràulic de l'aiguamoll. Però generalment, les graves que ofereixen una bona eficàcia solen oscil·lar entre diàmetres de 5 a 8 mm.

A continuació es mostra una taula amb els diferents tipus de medis granulars que s'utilitzen als aiguamolls construïts.

Material	Diàmetre efectiu	Porositat	Conductivitat hidràulica
	mm	%	m/dia
Sorres graduades	2	28-32	100-1.000
Sorres gravoses	8	30-35	500-5.000
Graves fines	16	35-38	1.000-10.000
Graves mitjanes	32	36-40	10.000-50.000
Roques petites	128	38-45	50.000-250.000

Taula 1. Diferents tipus de medis granulars utilitzats en aiguamolls construïts.

La fotografia que es mostra seguidament és un exemple de grava que s'acostuma a utilitzar en aiguamolls construïts i que dona molt bon rendiment.



Figura 5. Fotografia de grava d'un aiguamoll construït. Font: Pròpia (aiguamolls UPC)

3.2.2. Les plantes

La principal funció que tenen les plantes és la d'afavorir la funció física com per exemple:

- Aportar oxigen a les seves arrels, afavorint la degradació de la matèria orgànica mitjançant reaccions bioquímiques.
- Les seves arrels proporcionen una superfície (suport físic) que facilita el creixement dels bacteris nitrificants.

- Encara que no sigui molt important en quant a eficiència, també ofereixen un petit ajut, ja que aconseguixen assimilar, en petit percentatge, certs nutrients provinents dels agents contaminants.
- Estabilitzen i esmoreixen molts dels factors ambientals que incideixen directament sobre els aiguamolls.

Als aiguamolls construïts s'acostuma a utilitzar tot un seguit de plantes, anomenades macrófites, que tenen les mateixes característiques que la vegetació dels aiguamolls naturals. Dins d'aquestes es troba:

1. La Boga (*Typha sp.*)
2. El Canyís (*Phragmites Communies*)
3. el Jonc (*Juncos sp*)

3.2.3. Els microorganismes

Són els encarregats de dur a terme el treball de degradació de la MO que conté l'aigua residual, ja que aconseguixen degradar-la mitjançant processos biològics, a les arrels de les plantes. És en aquesta zona on s'utilitza l'oxigen creat per les plantes i que del qual els microorganismes se'n beneficien.

3.2.4. Distribució i recollida d'aigües

És tot el conjunt d'equipaments i mecanismes que fan possible la introducció, distribució de l'aigua a l'aiguamoll i la seva posterior recollida.

Per a que l'aiguamoll operi en condicions idònies i aporti el màxim rendiment possible d'eliminació és molt important que, un cop introduïda l'aigua per un extrem del medi granular, aquesta sigui repartida de manera homogènia per tot l'ample d'aquest i així arribarà en perfectes condicions al fons de l'aiguamoll. S'utilitza una canonada que es situa al fons de l'aiguamoll per a poder recollir l'aigua. Aquesta va paral·lela a aquest i en direcció ascendent, per on la qual es pot controlar el caudal d'aigua.

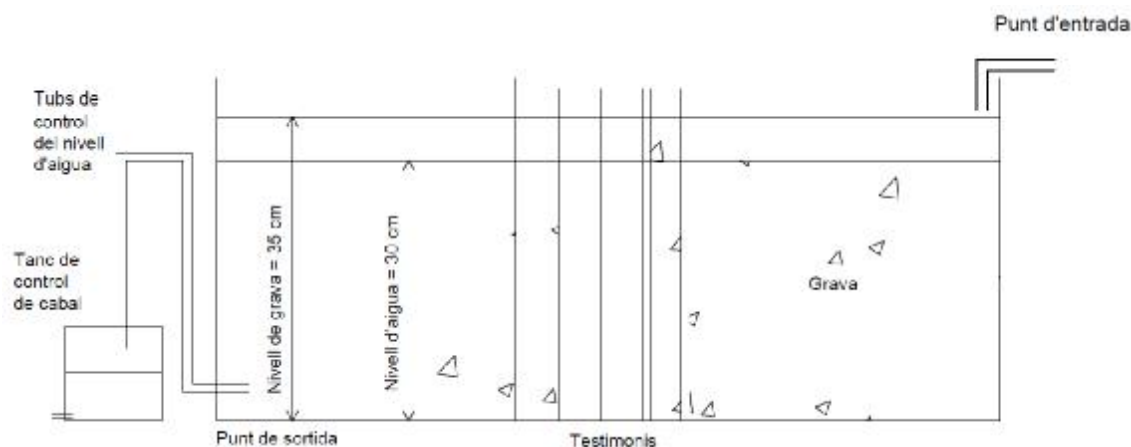


Figura 6. Esquema del sistema de distribució i recollides de les aigües

3.3. Mecanismes d'eliminació dels agents contaminants en aiguamolls construïts

Dins l'aigua residual que s'introdueix en un aiguamoll s'hi troben diferents tipus d'agents contaminants, que mitjançant processos biològics, físics i químics, s'eliminaran. D'entre un llistat dels contaminants més importants presents a l'aigua residual s'hi troba:

1. La matèria en suspensió (MES)
2. La matèria orgànica (MO)
 - a. La demanda bioquímica d'oxigen (DBO)
 - b. La demanda química d'oxigen (DQO)
3. El fòsfor
4. El nitrogen

Cadascun d'aquests presenten condicions diferents, per la qual cosa s'han de tractar de maneres diverses, creant tot un seguit de reaccions bioquímiques, per a la seva possible eliminació.

A continuació es descriuen tots i cada un dels mecanismes que es duen a terme en un aiguamoll en l'eliminació de cada contaminant.

3.3.1. Eliminació de la matèria en suspensió (MES)

És l'únic dels mecanismes d'eliminació de contaminants de caràcter físics, pel que no hi intervé cap reacció química o bioquímica.

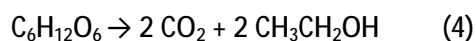
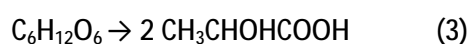
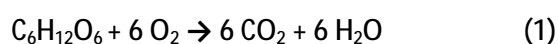
Quan s'introdueix l'aigua a l'aiguamoll i aquesta comença a circular a través del medi granular, la MES que conté l'aigua queda retinguda en aquest. Però no únicament es reté MES en el medi granular, aquí també entren en joc les arrels de les plantes, que retenen part de la MES que arriba fins a elles. El rendiment habitual d'eliminació de la MES oscil·la entre un 85%-95%, on aproximadament el 50% és eliminat al primer terç de l'aiguamoll.

3.3.2. Eliminació de la matèria orgànica (MO)

Per l'eliminació de la MO s'activen uns mecanismes biològics degut a que els microorganisme que es troben a l'aiguamoll s'alimenten i destrueixen el carboni present en la MO, ja que es considera que la MO principalment està composta per carboni.

Aquí intervenen processos d'eliminació aeròbics i anaeròbics. En els processos aeròbics és molt important que l'aportació d'oxigen sigui la idònia per a no fer minvar la generació dels microorganismes aeròbics heteròtrofs que hi intervenen. Així doncs l'eliminació de la MO dissolta es fa a partir de processos físics (mateix tractament que la MES).

A continuació es mostren totes les reaccions que s'originen en aquest fenomen:



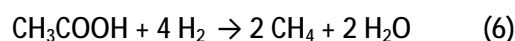
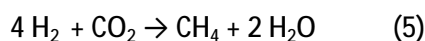
(1) És la reacció general d'aquest procés.

(2)(3)(4) Inici de l'etapa anaeròbica. És aquí on la MO es sintetitza com a àcid acètic (2), àcid làctic (3), etanol (4) i gasos com el CO₂ i l'H₂. L'element que fa possible aquesta sintetització són els bacteris heteròtrofs anaeròbics, que fermenten la MO.

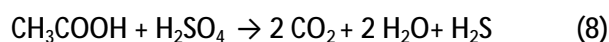
A la següent etapa d'aquest procés s'originen un seguit de reaccions diferents, ja que els productes finals de la fermentació segueixen sintetitzant-se gràcies a un altre tipus de microorganismes. Aquestes reaccions depenen del tipus de substrat que hi intervé.

S'ha de dir que totes aquestes reaccions que es mostren a continuació es generen de manera simultània dins l'aiguamoll. Aquestes es duen a terme en les parts més profundes de l'aiguamoll, ja que és a la zona on les cargues orgàniques són més altes i on no hi queda gairebé oxigen.

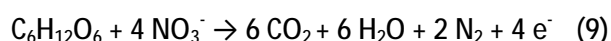
- Metanogènesi



- Sulfatoreducció



- Desnitrificació



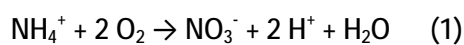
Una alternativa molt eficient per comprovar si un aiguamoll funciona en correctes condicions és estudiar els paràmetres de Demanda Química d'Oxigen (DQO) i la Demanda Bioquímica d'Oxigen (DBO), ja que aquests són els que quantifiquen l'eliminació de la MO.

A l'igual que amb la MES, la gran part de la MO és eliminada a les primeres capes de l'aiguamoll, ja que la gran part de la MO dissolta queda retinguda al medi granular. S'ha de dir que els aiguamolls no eliminen la totalitat de la MO, ja que ells mateixos en generen al fons, però es pot dir que eliminen el 85% d'aquesta.

3.3.3. Eliminació del Nitrogen

A l'aigua residual es troba el nitrogen en tres formes diferents: nitrogen orgànic, nitrogen amoniacal (NH_4^+) o nitrogen oxidat (NO_2^- i NO_3^-). És per això que depenent de l'origen d'aquest es durà a terme diversos processos d'eliminació.

El mecanisme més senzill és el que sorgeix per a eliminar el nitrogen orgànic, ja que aquest queda retés al medi granular perquè forma part de la MES. Aquest nitrogen orgànic, al degradar-se produeixen amoni i aquest amoni es pot eliminar de moltes maneres, però la més comuna es la nitrificació-desnitrificació. LA reacció que es genera en aquest procés és la següent:



La primera de les reaccions representa l'etapa de la nitrificació on un seguit de microorganismes oxiden l'amoni per transformar-lo en nitrats. La segona de les reaccions representa l'etapa de la desnitrificació on tots els nitrats són transformats en òxid de nitrogen i/o nitrogen molecular, gracies a unes partícules heteròtrofes que viuen en condicions anòxiques.

3.3.4. Eliminació de fòsfor

A l'aigua residual es poden trobar diferents tipus de fòsfor segons el seu origen: fòsfor orgànic, fosfats condensat i ortofosfats (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4).

La eliminació del fòsfor en aiguamolls construïts es du a terme mitjançant processos biòtics i abiòtics. Els biòtics inclouen la assimilació per les plantes i microorganismes, i la mineralització de les restes de vegetació i del fòsfor orgànic. Els processos abiòtics inclouen la sedimentació, la adsorció pel sòl i els intercanvis entre el sòl i l'aigua residual que circula. El fòsfor inorgànic descarregat als aiguamolls o resultat de la mineralització del fòsfor orgànic pot ser retingut per hidròxids d'alumini i ferro en sòls àcids i per minerals de calci i magnesi en sòls alcalins. Els rendiments d'eliminació del fòsfor varien entre el 30 i el 40 %.

3.4. Criteris per al disseny dels aiguamolls construïts

Com a qualsevol tècnica, abans de que aquesta sigui implantada s'han de seguir o controlar una sèrie de criteris amb els quals es vol aconseguir que aquesta sigui lo més eficient possible. És per això que alhora de construir un sistema d'aiguamolls s'han de tenir presents una sèrie de paràmetres, els quals augmentaran l'eficiència del sistema, i a la vegada, faran que tinguin un control i manteniment més senzill. A continuació s'esmenten els criteris a tenir present:

1. Els tractaments previs: És necessari disposar de sistemes per al tractament primari de l'aigua residual. Com a tractament primari s'entén, totes aquelles tècniques que eliminen els sòlids en suspensió presents a l'aigua residual. Els principals processos fisico-químics que poden ser inclosos en aquests tractaments són la sedimentació, flotació, coagulació-floculació i la filtració. Aquest és imprescindible per evitar el reblliment de la instal·lació i garantir una bona conductivitat hidràulica.
2. La evapotranspiració: És un dels aspectes hidrològics més importants, sobretot en zones càlides. És la suma de l'evaporació i la transpiració vegetal des de la superfície del sòl cap l'atmosfera terrestre. Els factors que influeixen en l'evapotranspiració són: l'etapa de creixement de les plantes, percentatge de cobriment del terra, la radiació solar, la humitat, la temperatura i el vent.
3. El gradient hidràulic: Entre l'entrada i la sortida de l'aiguamoll hi ha una diferència de cotes, això és el que fa possible que l'aigua hi circuli a través d'ell. Aquest moviment es veu impedit per les pèrdues de càrrega degudes a la resistència de la grava i les arrels. Aquesta diferència de cotes ha de ser suficient per impedir que l'aigua s'acumuli a l'entrada del sistema. A més en els aiguamolls de flux subsuperficial (FSS) cal intentar que el màxim volum de medi granular estigui en contacte amb l'aigua.
4. La porositat: En aiguamolls FSS, la porositat fluctua entre 0,3 i 0,4 per a grava fines.
5. La profunditat de la làmina d'aigua: Per a sistemes FSS el criteri és la profunditat màxima d'arrelament, que està entre 0,2 i 0,8 m, adoptant-se, en general profunditats de 0,6 m.
6. El temps de retenció hidràulica: És la relació entre el volum efectiu d'aigua i el cabal d'entrada, tot i això, no té perquè coincidir amb el temps real. De fet, és habitual que

els temps mesurats siguin inferiors als temps teòrics degut a l'existència de fluxos preferencials. D'altra banda, aquest efecte és lleugerament compensat per la presència d'arrels que retarden el moviment de l'aigua.

7. El Pendent: Afavoreix el flux hidràulic. Per a sistemes FSS, es consideren pendents d'entre el 0,1 i l'1%.
8. Geometria de l'aiguamoll: La relació llargada/amplada varia segons el tipus d'aiguamoll. Per aiguamolls de FSS la gran pèrdua de càrrega hidràulica que es produeix a l'inici dels mateixos obliga a que la relació llargada/amplada variï entre 0,4/1 i 3/1 (USEPA, 1993). Tot i això no es recomanen relacions inferiors a 1/1 per evitar grans ineficiències hidràuliques degudes a fluxos preferencials.

En relació a la profunditat dels aiguamolls, Garcia (2005), afirma que és un paràmetre important en relació a la eficiència de dels aiguamolls de flux subsuperficial. En el seu estudi, es demostra que els aiguamolls de menys profunditat són més efectius que els més profunds. També afirma que els aiguamolls amb graves més petites (mitjana de 3.5 mm) produeixen efluentes de més qualitat que aiguamolls amb graves més grans (mitjana de 10 mm).

Per últim, Bécares (2004), afirma que la càrrega orgànica (en termes de DBO i DQO) es la principal variable per al dimensionament. La càrrega aplicada ha d'estar en equilibri amb la capacitat d'oxidació del sistema per evitar que es produeixin sobrecàrregues que provoquin un excessiu desenvolupament de zones anaeròbiques (generen males olors) o de biopel·lícula (afavoreix el rebliment).

En relació a la vegetació, a continuació s'enumeren les característiques que han de complir les plantes en un sistema d'aiguamolls:

1. Les espècies han de ser colonitzadores actives, amb un sistema d'extensió de rizomes eficaç.
2. Cal que siguin espècies que assoleixin una biomassa considerable per aconseguir una bona assimilació dels nutrients.
3. La biomassa ha de tenir molta superfície específica per potenciar el creixement de la biopel·lícula.

4. Cal que disposin d'un sistema eficaç de transport d'oxigen cap a les parts subterrànies per tal de promoure la degradació aeròbica i nitrificació.
5. Han de ser capaces de créixer fàcilment en les condicions del sistema projectat.
6. Han de ser espècies amb una productivitat elevada.
7. Han de tolerar els contaminants presents a les aigües residuals.
8. Cal que s'utilitzin espècies pròpies de la flora local.

4. L'AIGUA I ELS TRACTAMENTS PREVIS A LA DEPURACIÓ

A l'aigua residual, abans de ser depurada, se la sotmet a diferents tipus de tractaments, que no són més que una sèrie de processos de caire físic, químic i biològic que com a objectiu principal, s'encarreguen d'eliminar els contaminants que aquesta conté després d'haver sigut utilitzada pels humans. La finalitat d'aquests es aconseguir que aquesta aigua, ja utilitzada i que és un "residu", torni a tenir les condicions originals i/o òptimes per a poder tornar-la a introduir dins el seu cicle i d'aquesta manera pugui tornar a ser utilitzada.

Aquests tractaments als que se la sotmet són els següents i es separen en tres grups diferents:

1. Tractament primari (*assentament de sòlids*):

Consisteix en la separació dels sòlids que no s'hagin retirat en la fase anterior mitjançant processos fisicoquímics, com són la flotació, la sedimentació i la coagulació. Es fa una decantació en grans tancs circulars o rectangulars als quals s'afegeixen productes químics, com, per exemple, sals metàl·liques i ions, que es combinen amb els sòlids en suspensió i creen agregats més grossos, que suren i es poden retirar.

2. Tractament secundari (*tractament biològic de la matèria orgànica dissolta present en l'aigua residual, transformant-la en sòlids suspesos que s'eliminen fàcilment*):

Consisteix en una segona decantació i en processos biològics per eliminar les restes de matèria orgànica que encara hi pugui haver. El mètode biològic més utilitzat consisteix a col·locar l'aigua en dipòsits de grans dimensions, en condicions aeròbiques. Els bacteris que hi ha en l'aigua, juntament amb d'altres que s'hi afegeixen, degraden les restes de matèria orgànica. Perquè els bacteris aerobis disposin de prou oxigen, s'hi insufla oxigen (aire) contínuament. Les restes de matèria orgànica, juntament amb la gran quantitat de bacteris que s'originen com a resultat d'aquest procés, formen una gran massa de fang o llots que es retira per decantació.

3. Tractament terciari (*passos addicionals com llacunes, microfiltració o desinfecció*):

Consisteix en l'eliminació dels minerals, virus, metalls pesants i matèria orgànica dissolta o sintètica. Inclou processos biològics, físics i químics. Permet tornar a reutilitzar l'aigua depurada per el reg de carrers, la jardineria i la indústria. Altres vegades, s'aboca als rius, als llacs o a la mar.

4.1. Tractament primari

En aquest apartat es procedeix a explicar, amb una mica més de cura i esment, el funcionament del tractament primari al que se li sotmet a l'aigua, ja que en aquesta tesina, un dels estudis que s'han realitzat és el de comparar dos tipus diferents de tractaments primaris i veure quin d'ells proporciona millors rendiments de depuració i es compagina millor amb el procés de depuració dels aiguamolls.

Com ja s'ha dit abans els tractaments primaris són aquells encarregats d'eliminar els sòlids en suspensió que romanen a l'aigua residual. A continuació s'enumeren i s'expliquen els diferents tipus de tractaments primaris existeixen.

4.1.1. Flotació

És un procés físic que es basa en la diferència de densitat . Aquest, gràcies a la diferència de densitat permet separa la matèria sòlida o líquida que presentin densitats més petites que la de l'aigua, ja que degut a aquesta particularitat, aquesta matèria menys densa ascendirà fins a la superfície de l'aigua.

4.1.2. Coagulació-floculació

Moltes vegades l'aigua està constituïda per una suspensió coloidal, és a dir, per partícules de tamany molt petit que acostumen a ser molt estables. Aquesta estabilitat el que provoca es una extremadament lenta sedimentació. Per poder millorar i fer més eficient aquest sistema d'eliminació de matèria coloidal s'hi afegeixen una sèrie de reactius químics a l'aigua, per a desestabilitzar la matèria, i que després afavoreixen la floculació d'aquestes, i aconseguir d'aquesta manera tenir matèria fàcilment sedimentable. Cal remarcar que la

desestabilització del material coloidal es genera gràcies als reactius químics que s'hi afegeixen, els quals aporten carga elèctrica contrària a la que presenta el col·loide. Aquests reactius acostumen a ser sals de Ferro III, sals d'alumini III i polielectrolits.

4.1.3. Filtració

La filtració és un procés molt senzill el qual tracta en fer passar l'aigua que es vol tractar, a través d'un filtre, és a dir un medi porós, que té l'única finalitat de retenir i no deixar passar la major quantitat possible de matèria en suspensió.

4.1.4. Decantació

Aquest és un procés físic amb la finalitat de separar la matèria en suspensió gràcies a la gravetat. Aquesta es basa simplement en la deposició al fons d'un decantador de tota aquella matèria que sigui més densa que l'aigua. Aquesta decantació i/o sedimentació de la matèria, serà més eficaç com més gran sigui la densitat i el tamany de les partícules. Això s'explica, ja que com més gran siguin les partícules, més velocitat de sedimentació presentaran aquestes degut al seu pes.

El procés de decantació té un avantatge que cap dels altres processos de tractaments primaris presenten. Aquesta a més d'eliminar tant, la gran part de la matèria en suspensió que conté l'aigua, aproximadament d'un 60% i d'eliminar part de la matèria orgànica, aproximadament d'un 30%, a més, té la capacitat de protegir els processos posterior basats en l'oxidació biològica, ja que elimina els fangs inerts amb densitats elevades.

Tot el material que ha aconseguit ser sedimentat s'anomena fang. Aquests s'eliminen del fons del decantador mitjançant unes rasquetes que arrossegueu a aquests fins a la sortida del decantador.

Els decantadors poden presentar formes molt variades, tals com, *decantadors rectangulars, decantadors circulars i decantadors lamelars*.

Justament en aquesta tesina, un dels tractaments primaris als que se li ha sotmès a l'aigua és la decantació. A continuació és mostra una fotografia dels decantadors que s'han utilitzat per a realitzar aquest procés.



Figura 7. Decantadors utilitzats a la tesina

Les dues fotografies que es mostren seguidament fan referència a un decantador vist des de fora, i l'altre des de dins.



Figura 8. Decantador vist des de fora

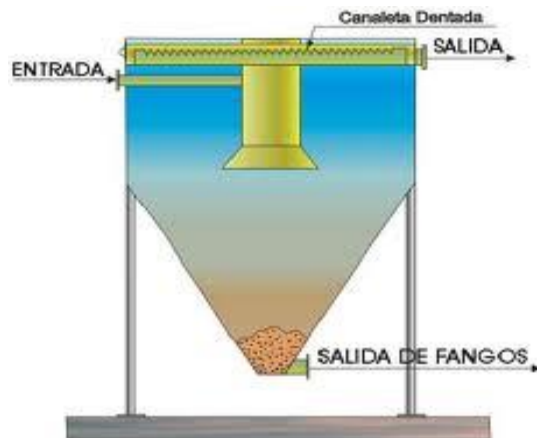


Figura 9. Decantador vist des de dins

4.1.5. Reactors biològics

Un altre tipus de tractament primari que es pot utilitzar per a tractar aigua residual abans de ser introduïda als aiguamolls construïts són els reactors biològics.

A diferència dels tractaments anteriorment explicats, els reactors biològics són una tècnica consolidada als països amb un clima càlid, ja que als països amb climes freds encara no s'ha arribat a consolidar.

Dintre del món dels reactors biològics en podem trobar de dos tipus: *els reactors de llit de fangs anaeròbics de flux ascendent (UASB) i els reactors hidrolítics de llit de fangs ascendent (HUSB)*, en anglès les sigles signifiquen Hydrolytic Upflow Sludge Bed.

- REACTORS DE LLIT DE FANG ANAERÒBIC DE FLUX ASCENDENT (UASB)

És una espècie de bioreactor tubular que treballa en un règim continu i amb fluxes ascendents, el que vol dir que el flux d'aigua entra per la part inferior del reactor i surt per la part superior, travessant tota la llargada d'aquest. En aquests reactors anaeròbics els microorganismes s'agrupen de tal manera que formen biogrànuls.

Aquest tipus de tècnica ha sigut molt estudiada i s'ha arribat a la conclusió de que és de les més adequades com a tractament primari per a aiguamolls de flux subsuperficial horitzontal, ja que l'aigua que tracta acaba sortint amb una concentració menor de DQO i amb menor quantitat de sòlids en suspensió que amb els demés tractaments primaris.

- REACTORS HIDROLÍTIC AMB LLIT DE FANG ANAERÒBIC DE FLUX ASCENDENT (HUSB)

Aquest tipus de reactors són i treballen igual que els UASB però amb la petita diferència que treballen amb temps de retenció hidràulica menors, d'entre 2 a 5 hores. Aquesta modificació és deguda a que d'aquesta manera s'intenta evitar la metanogènesi, és a dir, la creació de metà. Una altra particularitat que presenten és que la retenció dels sòlids es manté durant més de 15 dies per aconseguir hidrolitzar gran part d'aquests sòlids.

Dins dels HUSB es donen tres tipus diferents de processos com són: la sedimentació, la filtració i la absorció.

Al igual que en el cas del U.A.S.B, el HUSB també és una tecnologia que s'aplica a regions càlides, ja que a zones amb climes freds la seva eficiència és menor. Aquests presenten una

eficiència elevada en la eliminació de la matèria en suspensió que conté l'aigua residual municipal.

Precisament, en aquesta tesina s'ha utilitzat aquest tipus de reactors. A continuació se'n mostra una fotografia.



Figura 10. Fotografia del HUSB

5. ELS GASOS D'EFECTE HIVERNACLE: EMISSIÓ

Es denominen gasos d'efecte hivernacles (GEH) a tots els gasos que estant presents a l'atmosfera contribueixen a l'efecte hivernacle, és a dir que tinguin un alt potencial d'escalfament. Els més importants estan presents en l'atmosfera de manera natural, encara que la seva concentració pot veure's modificada per l'activitat humana, però també entren en aquest concepte alguns gasos artificials, producte de la indústria. Aquests gasos contribueixen, més o menys, de forma neta a l'efecte hivernacles per l'estructura de les seves molècules, i de manera substancial, per la quantitat de molècules del gas presents en l'atmosfera.

Els gasos implicats en l'efecte hivernacles són els següents:

- Vapor d'aigua (H_2O)
- Diòxid de carboni (CO_2)
- Metà (CH_4)
- Òxids de nitrogen (NO_x)
- Ozó (O_3)
- Clorofluorocarbonats (CFC)

5.1. Emissions de gasos d'efecte hivernacle en aiguamolls

Com s'ha esmentat anteriorment els aiguamolls representen una alternativa molt eficient i neta per als tractaments d'aigua residual convencionals. Tot i tenir moltes avantatges, abans de començar a implantar de forma massiva aquest tipus de mecanisme de depuració, s'ha de parlar molta cura i estudiar molt bé les emissions que aquests presenten, ja que emeten dos dels gasos d'efecte hivernacle per excel·lència: el metà i l'òxid nitrós.

S'han realitzat estudis comparatius entre les emissions tant dels aiguamolls com dels mètodes tradicionals per a depurar l'aigua i s'ha arribat a la conclusió que en referència a les emissions d'òxid nitrós, es troba que aquestes són bastant superiors als sistemes convencionals, però que en referència a les emissions de metà, aquestes són iguals o inclús superiors en aiguamolls. És per aquest motiu que abans d'estendre i massificar el planeta amb

l'alternativa dels aiguamolls s'han de realitzar molts estudis per veure quins efectes sobre el medi ambient poden tenir les emissions de metà.

5.1.1. Emissions de metà

Com es pot veure en apartats anteriors, els aiguamolls generen grans quantitats de metà en el procés d'eliminació de la MO, quan uns microorganismes es dediquen a sintetitzar els productes finals de la prèvia degradació de la MO. Llavors és aquí on es genera el metà, a les parts més profundes d'aquests on es troba la zona on les cargues orgàniques són més altes i on no hi queda gairebé oxigen.

Un apunt important, en quant a les emissions de metà, és que cal saber que el sòls tenen la capacitat d'adsorbir part del metà que es generen als aiguamolls. Aquesta capacitat varia segons el tipus de sòl que sigui. És per aquesta raó, que no tot el metà generat per l'aiguamoll és emès a l'atmosfera, sinó que una part queda retés mitjançant una oxidació produïda per uns bacteris oxidants que es troben al sòl. En estudis anteriors s'ha corroborat que els sòls que presenten una adsorció màxima de metà són els sòls mineralitzats, que inclús tenen la capacitat d'adsorbir el metà de l'atmosfera.

5.1.2. Emissions d'òxid nitrós

A l'igual que el metà, l'òxid nitrós també és un dels residus en estat gasos que generen els aiguamolls durant el mecanisme d'eliminació del nitrogen a través de processos microbiològics en la nitrificació i desnitrificació. A diferència del metà, la quantitat d'òxid nitrós produïda pels aiguamolls és bastant més inferior. Com a part positiva, a l'igual que amb el metà, els sòls també tenen la capacitat d'adsorbir quantitats d'òxid nitrós de l'atmosfera.

Com s'ha esmentat en apartats anteriors, científics han testat que les emissions de metà en aiguamolls són molt més elevades que d'òxid nitrós. És per aquest motiu que, a continuació, es mostra una taula amb dades recollides sobre aquestes emissions en estudis realitzats en països nòrdics.

	N ₂ O-N		CH ₄ -C	
	Estiu	Hivern	Estiu	Hivern
	<i>mg / m² i dia</i>			
Estònia	7,1 ± 2,1(160)	1,6 ± 0,23 (140)	340 ± 240(160)	1,5 ± 0,30(140)
Estònia	4,2 ± 3,9 (64)	1,1 ± 0,31 (89)	160 ± 38(120)	11 ± 4,5 (89)
Noruega	6,9 ± 4,3(22)	36 ± 22(6)	130 ± 43(22)	-1,5 ± 6,9(6)
Polònia	-----	-----	670 ± 220(34)	44 ± 34(6)
Mitjana	5,9 ± 0,81 (302)	2,2 ± 0,65 (235)	300 ± 110(336)	6,0 ± 1,9 (241)

Observacions: Les xifres es presenten de la següent forma: mitjana ± desviació estàndard i el nombre de mostres preses entre parèntesis.

Taula 2. Fluxos de N₂O-N i CH₄-C mesurats en diversos aiguamolls. Font: Pròpia a partir de Sovik et al. (2006)

Com més endavant es veurà, un dels factors que té més influència en les emissions dels aiguamolls és la temperatura. És per aquesta raó, que la taula anterior ha de servir de manera orientativa i no es pot aplicar directament sobre el comportament de les emissions dels aiguamolls que es trobin en zones càlides com la nostra. Això és degut a que en zones càlides l'emissió dels aiguamolls és bastant més elevada degut a la temperatura.

S'han fet molts estudis sobre els factors que poden influir en les emissions d'aquests gasos per part dels aiguamolls i s'han trobat algunes d'interessants.

- Variabilitat en funció de l'aigua tractada: En aquest aspecte no s'ha trobat gaire variació en les emissions. Encara que tot i que un aigua residual tractada, contingui més quantitat de nitrogen dissolt o de MO, no influenciarà en el còmput final de les emissions. Aquesta augment serà pràcticament imperceptible.
- Variabilitat en funció del tipus de sòl: Encara que abans s'hagi esmentat que els sòls tenen la capacitat d'adsorbir tant metà com òxid nítrós, en aiguamolls que tracten aigües residuals municipals aquest factor no presenta diferències significatives.
- Variabilitat estacional i de temperatura: S'ha comprovat que als mesos de més calor de l'any, les emissions d'aquestes dues substàncies augmenta de manera notable, i ho fa de manera proporcional a la que ho fa la temperatura. En el cas de l'òxid nítrós, l'augment d'aquest és degut a que per l'augment de temperatura els mecanismes de nitrificació i desnitrificació s'activen encara més.

-
- Variabilitat temporal: En aquest cas tampoc s'han trobat diferències significatives entre les emissions d'aquests dos components entre el dia i la nit.
 - Variabilitat en funció de la profunditat de l'aiguamoll: A tots els estudis realitzats s'ha trobat que els aiguamolls amb majors profunditats emeten més metà que els de profunditats inferiors.
 - Variabilitat en funció de la vegetació: Tots els estudis coincideixen en que els aiguamolls sense vegetació presenten emissions més baixes que el que estan plantats, ja que les plantes poden actuar com a conductors del metà. A més, en els períodes de primavera, quan la radiació és més intensa, les plantes acumulen més carboni i nitrogen que durant les estacions fredes o els estius amb poca radiació.

6. TÈCNIQUES DE MESURA DELS GASOS: LES CAMBRES

Per a poder mesurar l'emissió de gasos als aiguamolls s'han aplicat i desenvolupat una gran varietat de tècniques. A dia d'avui, no s'ha trobat la tècnica idònia per això, encara que hi ha unes que presenten més avantatges o inconvenients que d'altres. Per aquesta mesura de gasos, existeixen dos tipus diferents de tècniques: les tècniques amb cambra i les tècniques micrometeorològiques.

A continuació es fa un petit esment de cada una d'aquestes tècniques, però cal recalcar, que en aquesta tesina s'ha utilitzat la tècnica de la cambra tancada.

Ø TÈCNICA MICROMETEOROLÒGICA

AVANTATGES

- Ø Les dades d'emissió que s'obté amb aquesta tècnica són de mitjanes de centenars de metres quadrats.

INCONVENIENTS

- Ø Per a implantar aquest tipus de tècniques es requereix de mà d'obra.
- Ø És una tècnica relativament cara.
- Ø En zones arbrades oposa dificultat.

Ø TÈCNIQUES AMB CAMBRA

Segons molts autors que han fet estudis referents a aquest tema, molts d'ells coincideixen que aquest tipus de tècnica presenta més avantatges que inconvenients que la tècnica anterior. A continuació es procedeix a explicar amb més cura aquesta, ja que és la que s'ha utilitzat en aquesta tesina.

A diferència de la tècnica anterior, aquesta és caracteritzada per ser una tècnica econòmica, de fàcil ús i que es pot implantar a qualsevol zona. Molts autors asseguren que aquesta és la tècnica de recerca per excel·lència.

Aquest tipus de tècnica té com a objectiu aïllar el volum d'aire adjacent a la superfície sense variar els processos naturals que tenen lloc durant l'intercanvi de gasos entre la superfície i l'aire retingut. Les cambres tenen una estructura molt senzilla: La superfície de la cambra, un tub que connecta la cambra amb l'atmosfera, un termòmetre, un ventilador i un seguit de connexions on hi ha xeringues que serveixen per a l'extracció de les mostres de gasos a l'interior de la cambra (al següent apartat es mostra una foto d'aquesta).

Depenent de l'estudi que es vulgui realitzar existeixen tres tipus de cambres diferents segons uns paràmetres bàsics: Estat estacionari dins la cambra, si està connectada a l'atmosfera o si hi ha flux a través d'ella. A continuació es mostren unes imatges d'aquestes:

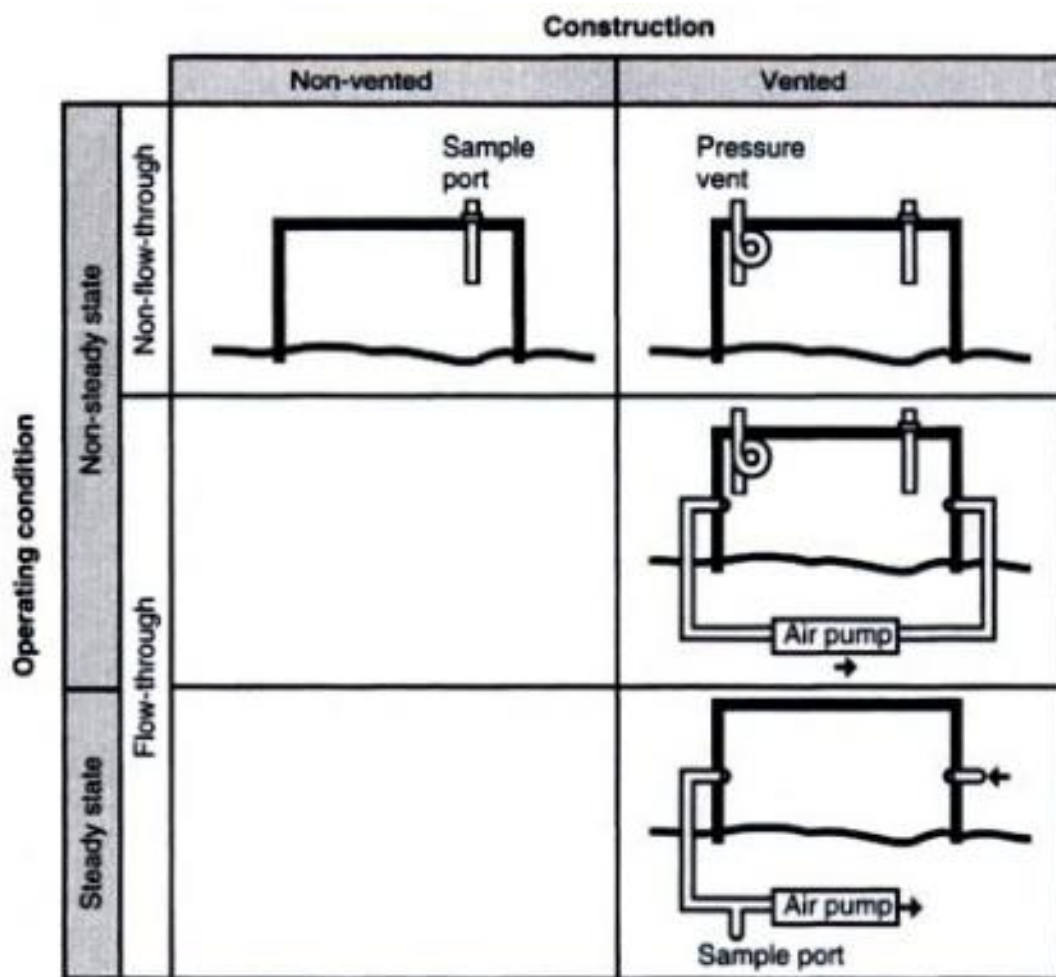


Figura 11. Esquema dels tres tipus de cambres

6. 1. Paràmetres clau per al disseny de les cambres

6.1.1. Material i forma

L'únic requeriment que ha de tenir el material del que està compost la cambra és que ha de ser totalment impermeables e inert, per evitar influir en la presa de dades i en el comportament de les emissions. En referència a la forma, no hi ha cap forma estipulada que vagi millor per a aquest tipus d'estudis, encara que les formes generalment més empleades són les cilíndriques i rectangulars. A continuació es mostra una taula amb diferents materials empleats en les cambres.

Font	Material
Mander (2008)	PVC
Moore et al. (1991)	Policarbonat
Pumpanen et al. (2004)	Policarbonat, alumini i acer inoxidable
Conen et al. (1998)	Perspex

Taula 3. Materials per a la construcció de la cambra

6.1.2. El ventilador

L'objectiu principal del ventilador és de barrejar tot l'aire que estigui dins la cambra per a fer que aquest sigui el més homogeni possible a l'interior d'aquesta. Això es vol ja que a l'hora de prendre les mostres, aquestes han de ser el més homogènies possibles, per a obtenir dades lo més representatives possibles del conjunt de gas que hi ha dins la cambra.

És molt important parar cura amb el tipus de ventilador que s'incorpora dins la cambra, ja que not tots fan un bon ús de l'homogenització. És molt important saber quina potència ha de tenir aquest, ja que no per més potència hi ha millor homogeneïtzació. S'ha descobert que a potències molt elevades, es crea una excessiva turbulència dins la cambra que pot arribar a generar un flux de massa de CO₂ del sòl cap a l'interior de la cambra.

6.1.3. Tub de connexió a l'atmosfera

Aquest és l'únic element que diferencia les cambres tancades (non-vented) de les obertes (vented). Aquest element s'incorpora a les cambres obertes per comunicar les fluctuacions i els canvis de pressió que es creen al gas de l'interior de la cambra, i així

minimitzar tant com es pugui les pertorbacions de flux de massa a través de la interfície entre l'atmosfera i el sòl, i també s'utilitza per a compensar l'aire extret durant la presa de mostres i evitar problemes amb la disminució del volum de gas dins la cambra. S'ha de tenir cura en la localització del tub de connexió amb l'atmosfera, ja que per a que aquest no influeixi a l'hora de prendre mostres, ha d'estar allunya del punt de mesura.

6.1.4. Temps de mesura

Un dels factors més importants a l'hora de dissenyar la cambra és conèixer els temps que romandrà la cambra sobre el sòl de l'aiguamoll prenent mesures. En general aquest temps es calcula d'entre uns 20 a 40 minuts. Aquest temps està directament relacionat amb el cromatògraf, que és l'equip que s'utilitza per analitzar les dades, ja que fins als 40-60 minuts de mostreig permet que s'acumuli gas fins a concentracions que el cromatògraf pot detectar.

El temps de mesura té influències positives i negatives en dos aspectes: El primer d'ells diu que si s'allarga el temps de mesura, es redueix que hi hagi alteracions dins la cambra i que la concentració de metà sigui més constant. Però per altra poden presentar-se problemes originats per bombolles de gas, pel que s'augmenta la possibilitat d'obtenir mesures d'emissions infreqüents.

6.1.5. La temperatura

Com s'ha explicat en apartats anteriors, uns dels factors del que depenen les emissions dels aiguamolls és la temperatura. S'ha de controlar aquest factor a través d'un termòmetre. Generalment aquesta acostuma a ser constant durant tot el mostreig, encara que degut a que dins la cambra cada cop hi ha més concentració de gas, la temperatura pot variar una mica i augmentar, però aquesta petita variabilitat no influeix a l'hora de prendre les mostres.

6.2. Característiques de la cambra utilitzada

A continuació es procedeix a explicar i ensenyar quina ha sigut la cambra que s'ha utilitzat en aquesta tesina. És per això que s'especifiquen les característiques d'aquesta i a més, s'adjunten unes fotografies.

Les fotografies que es mostren seguidament fan referència a la cambra utilitzada en aquesta tesina per a les simulacions del comportament dels aiguamolls. A més s'adjunta una taula on s'especifiquen les característiques del ventilador utilitzat i una altra amb les característiques de la cambra utilitzada.

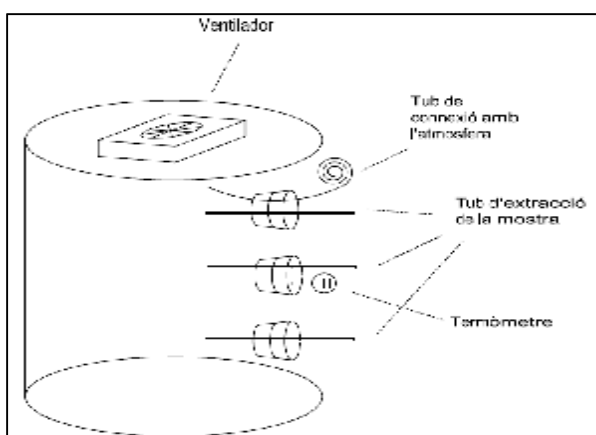


Figura 12. Esquema de la cambra utilitzada



Figura 13. Fotografia de la cambra utilitzada

Cambra	Diàmetre exterior	19 cm
	Diàmetre interior	18,5 cm
	Alçada	22.5 cm
	Material	Polipropilè
	Color	Blanc
	Propietats lluminoses	Translúcid
Septums (3)	Material	Cautxú
	Dimensions (ϕ)	1.5 cm
Termòmetre (1)		
Tubs per a la presa de mostres (3)	Longitud	16 cm
	Diàmetre interior	3 mm
Tub per al contacte amb l'atmosfera (1)	Longitud	2 m
	Diàmetre interior	2 mm

Taula 4. Característiques de la cambra

Ventilador	Marca	A8025-18CB-5BN-L1
	Dimensions	80 x 80 x 25 mm
	Velocitat	1800 rpm
	Flux d'aire	22,84 CFM= 646,83 l/min

Taula 5 Característiques del ventilador

7. ELS AIGUAMOLLS CONSTRUITS UTILITZANTS

7.1. Esquema de la planta utilitzada

És important e interessant mostrar un esquema resumit i entenedor del circuit que hi ha muntat al sostre de l'edifici D1 de l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Aquest és el que ha fet possible que es pugui dur a terme aquesta tesina.

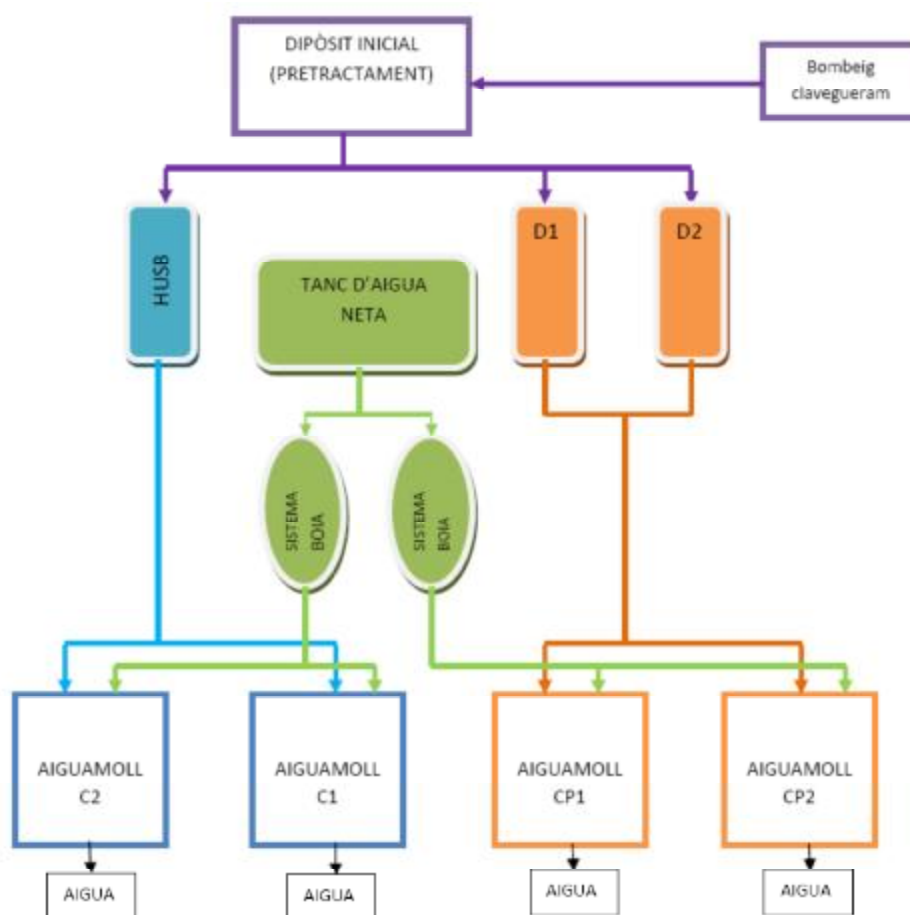


Figura 14. Esquema de la planta

A continuació s'explica el funcionament de la planta i per entendre-la s'han de diferenciar 3 circuits:

- CIRCUIT 1 :

El punt inicial d'aquest és el clavegueram del carrer, que dotat d'unes bombes que anys enrere es van instal·lar per a poder fer arribar l'aigua residual del barri de Pedralbes fins a la planta del sostre de l'Escola.

Aquest aigua entra en un dipòsit inicial on allà es duu a terme un pretractament d'aquesta, mitjançant uns filtres que retenen tots aquells objectes de gran tamany que poden fer malbé el funcionament de la planta.

Seguidament l'aigua circula cap a un H.U.S.B. (digestor anaeròbic hidrolític) que és un sistema de pretractament amb la principal funció de hidrolitzar els compostos difícilment biodegradables i la reducció de la MES, per reduir la colmatació de l'aiguamoll i del sistema en sí. L'aigua romandrà un temps al HUSB i directament s'enviarà als aiguamoll C1 i C2 per a que comenci la seva depuració. L'aigua depurada és emmagatzemada en uns petits recipients a la sortida de l'aiguamoll.

- CIRCUIT 2 :

El punt inicial d'aquest és el clavegueram del carrer, que dotat d'unes bombes que anys enrere es van instal·lar per a poder fer arribar l'aigua residual del barri de Pedralbes fins a la planta del sostre de l'Escola.

Aquest aigua entra en un dipòsit inicial on allà es duu a terme un pretractament d'aquesta, mitjançant uns filtres que retenen tots aquells objectes de gran tamany que poden fer malbé el funcionament de la planta.

Seguidament l'aigua circula cap a dos decantadors (D1 i D2) que treballen en paral·lel i que com el seu nom indica s'encarreguen de decantar l'aigua amb la funció de reduir la MES, per reduir la colmatació de l'aiguamoll i del sistema en sí. Aquest aigua es enviada directament als aiguamoll CP1 i CP2 per a que comenci la seva depuració. L'aigua depurada és emmagatzemada en uns petits recipients a la sortida de l'aiguamoll.

- CIRCUIT 3:

Aquest circuit és independent dels altres dos, i no influeix de manera directa en la depuració de l'aigua. És únicament un circuit d'aigua neta el que té la funció de contrarestar les possibles pèrdues d'aigua dels aiguamolls degut a l'evotranspiració o per l'evaporació en condicions d'altres temperatures.

Aquest comença en un tanc que està ple d'aigua neta. Aquest es plena directament a través d'una mànega. Tot seguit aquest aigua s'envia a un sistema de boies (un per a cadascun dels anteriors circuits). Aquest sistema de boies està construït a la mateixa alçada que els aiguamolls, llavors si els nivells d'aigua del sistema de boies o de l'aiguamoll deixa de ser igual, aquest sistema s'activa.

El mecanisme és el següent: Mentre els dos recipients tenen el mateix nivell d'aigua la boia romana queda quieta. Al moment que l'aiguamoll té una disminució del seu nivell, ja que els dos recipients estan directament connectats, a la que es detecta una baixada de nivell d'aigua i com a conseqüència una baixada de pressió per part de l'aiguamoll, l'aigua del sistema de boies travessarà cap a l'aiguamoll, fins que els dos nivells es tornin a igualar.

Aquest sistema és el que assegura el bon funcionament de l'aiguamoll, controla la colmatació i a més assegura que les plantes mai es quedin sense aigua i acabin morint o assecant-se.

7.2. Característiques generals de la planta

Les característiques de la planta construïda són les següents:

Ø Tipus de grava	$D_{60} = 7,3 \text{ mm}$ i $C_u = 0,8 \text{ mm}$
Ø Tipus de membrana impermeabilitzant	De cautxú sintètic EPDM vulcanitzat (Giscosa)
Ø Tipus de plantes	<i>Phragmites Australis</i> (Canyís)
Ø Règim hidràulic	Continu

A continuació es mostra un esquema dels tancs de la planta que simulen ser aiguamolls construïts.

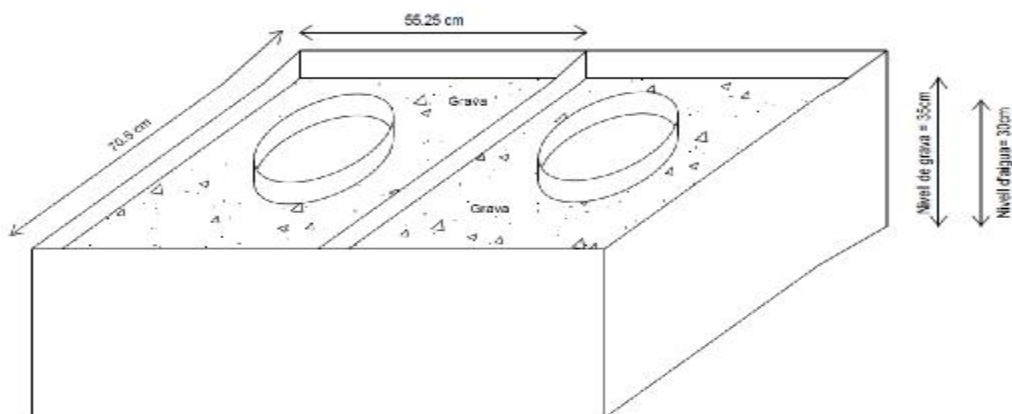


Figura 15 Tanc que simula ser el nostre aiguamoll construït (dimensions)

7.2.1. Adaptació del mètode de la cambra estàtica per a la determinació d'emissions de gasos d'efecte hivernacle en aiguamolls construïts.

Els aiguamolls construïts en aquesta planta tenen unes dimensions molt més reduïdes (0.4 m^2) que els aiguamolls reals, és per aquesta raó que degut a les seves dimensions s'ha impedit tenir en compte la variabilitat espacial de les emissions, ja que aquestes han sigut extretes des d'un únic punt. El punt per on s'han fet les mesures es troba al centre dels aiguamolls. A continuació es mostra una fotografia del punt per on s'extreuen les mostres.



Figura 16. Punt per on s'extreuen les mostres de l'aiguamoll

La cambra que s'ha construït per a poder dur a terme els assajos té les mateixes dimensions que el tub per on es prenen les mostres de metà, ja que aquesta va clavada a la grava de l'aiguamoll. Seguidament es mostra una fotografia del muntatge per fora amb la cambra clava i un esquema final de com queda l'aiguamoll amb la cambra preparada per a fer els assajos és el següent:



Figura 17. Fotografia cambra clavada dins aiguamoll durant un dels assajos

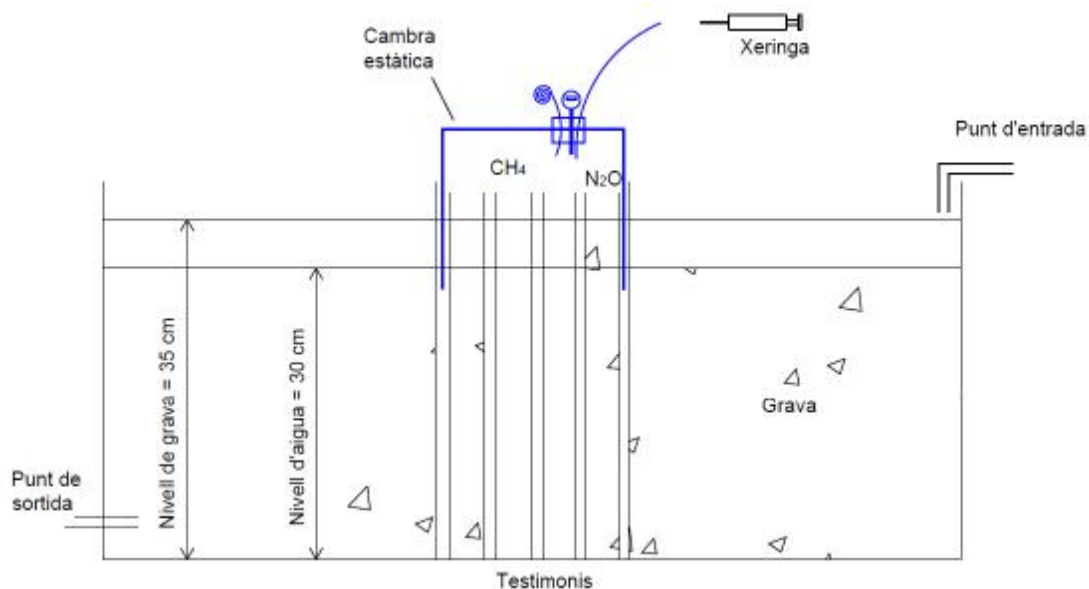


Figura 18. Esquema final durant un assaig

La cambra d'aquesta part de la tesina és molt semblant a la utilitzada al laboratori, però té algunes modificacions fetes. Degut a les dimensions de l'aiguamoll, aquesta ha de ser més curta i menys ample que la del laboratori. A més, consta d'un termòmetre que mesura la temperatura en tot moment, de dins de la cambra, d'un tub que connecta amb l'atmosfera,

d'un ventilador i d'un únic punt de extracció de mostres a la part superior on s'extreu aire mitjançant una de les mateixes xeringues utilitzades al laboratori. A continuació es mostra una esquema d'aquesta:

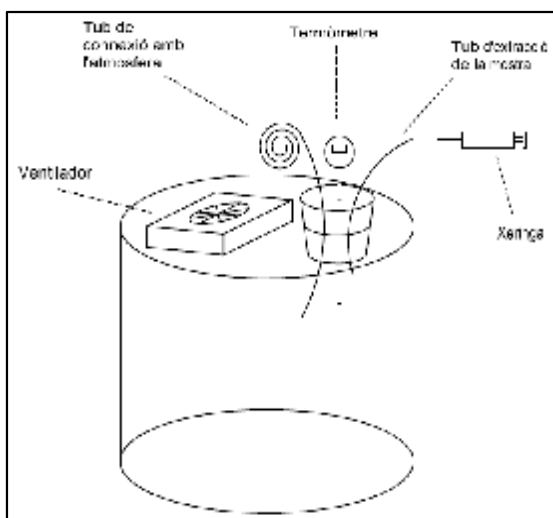


Figura 19. Esquema de la cambra utilitzada



Figura 20. Fotografia de la cambra utilitzada

Les característiques d'aquestes es mostren a continuació:

Cambra	Diàmetre exterior	19 cm
	Diàmetre interior	18,35 cm
	Alçada	15 cm
	Material	Polipropilè
	Color	Blanc
	Propietats lluminoses	Translúcid
Septum	Material	Silicona
	Dimensions (ϕ_{mig})	4 cm
Termòmetre		
Tub per a la presa de mostres	Longitud	16 cm
	Diàmetre interior	3 mm
Tub per al contacte amb l'atmosfera	Longitud	2 m
	Diàmetre interior	1,5 mm

Taula 6. Característiques de la cambra

8. PART EXPERIMENTAL: MATERIAL I MÈTODES

En aquest apartat s'explica de manera molt detallada en que ha consistit tot el treball d'aquest interessant estudi. Aquesta tesis és un estudi de camp, i per tant tot el treball ha recaigut en fer comprovacions e invents per intentar esbrinar certs comportaments que presenten els aiguamolls construïts.

S'ha de dir que aquesta part experimental consta de tres estudis que s'han realitzat per separat, però que després s'hi ha trobat una connexió entre ells. Així que es pot fer la següent separació:

1. ESTUDI 1. Caracterització de l'aigua residual tractada
2. ESTUDI 2. Experiments al laboratori (simulacions)
3. ESTUDI 3. Experiments als aiguamolls construïts (emissió de metà)

8.1. ESTUDI 1

8.1.1. Caracterització de l'aigua residual tractada

En aquesta part de la tesina es fa un seguiment i control setmanal de l'aigua per als aiguamolls, tant a l'entrada d'aquests, per comprovar si els sistemes de decantació i HUSB funcionen correctament, tant a la sortida dels aiguamolls (aigua ja depurada) per veure si aquest ho fan de manera correcta.

Per conèixer el seu comportament es fan una sèrie d'assajos, tots igual cada setmana. Per començar a fer tot aquest seguit d'experiments s'agafen mostres d'aigua de la planta del sostre de l'Escola en unes ampolles d'un litre aproximadament cadascuna. Aquestes mostres són agafades de l'entrada i sortida de cada aiguamoll (un total de 8 mostres). A continuació aquests s'esmenten:

8.1.1.1. Quantificació de la Matèria en Suspensió (MES)

Per a quantificar la MES es necessita un sistema de filtració al buit, paper de filtre i les mostres.

1. Rentar papers de filtres (fibra de vidre) amb aigua destil·lada i deixar assecar totalment.
2. Pesar filtres un cop assecats i etiquetar-los amb les mostres que s'han d'analitzar.
3. Posar paper filtre al sistema de filtració al buit, encendre'l i tirar uns 50 ml de mostra.
4. Deixar assecar totalment a una estufa
5. Un cop secs tornar a pesar

La quantitat de MES que tenen les mostres d'aigua dels aiguamolls ve determinada per:

$$MES \text{ mostra} = \text{Pes final de la mostra assecada (5)} - \text{Pes inicial del filtre (2)}$$



Figura 21. Sistema de filtració al buit



Figura 22. Papers de filtre per a la determinació de la MES

Les dues fotografies que s'han adjuntat anteriorment representen part del material que s'ha utilitzat per a la quantificació de la MES.

8.1.1.2. Quantificació d'amoni

Com ja s'ha explicat abans, i més concretament a l'apartat dels contaminants que conté l'aigua residual (Apartat 3.3), un d'aquests és el nitrogen. Per aquesta raó, per veure si els aiguamolls funcionen correctament es fa un estudi per quantificar el contingut de nitrogen que hi ha present en l'aigua abans i després d'estar en contacte amb els aiguamolls.

Per aquesta raó s'entén que es cregui convenient quantificar l'amoni que està present a l'aigua, ja que el nitrogen orgànic que roman allà al degradar-se es transforma en amoni, i que mitjançant la nitrificació-desnitrificació aquest s'acaba convertit en nitrats.

Per dur a terme aquesta quantificació s'han de prepara uns reactius abans, els quals són els següents:

1. Solució de nitraprusiat de sodi (0.50%)

- Pesar 1g de Nitraprusiat de sodi ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Agitar fins a diluir-lo
- Enrasar en un matraç de 200 ml d'aigua amb destil·lada

2. Solució de Fenol (10%)

- Pesar 10 g de Fenol
- Afegir 5 ml de Propanol i 50 ml d'Etanol
- Agitar fins a diluir-lo
- Enrasar en un matraç de 150 ml amb aigua destil·lada

3. Solució Alcalina

- Pesar 100 g de Citrat de sodi ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
- Afegir 5 g d'Hidroxid de sodi (NaOH)
- Enrasar en un matraç de 500 ml amb aigua destil·lada

4. Solució Patró d'amoni

- Pesar 3.8 g de Clorur d'amoni (NH_4Cl)
- Assecar durant 1 hora en una estufa a 100°C
- Deixar refredar durant 15 minuts a un dessecador
- Enrasar en un matraç de 1000 ml amb aigua destil·lada

5. Solució Oxidant (Aquesta es prepara el mateix dia que s'hagi de fer l'anàlisi)

- 80 ml de Solució Alcalina + 20 ml de Lleixiu
- Barrejar en un vas de precipitats de 150 ml

El procediment utilitzat, anomenat determinació colorimètrica de l'amoni, està basat en el mètode desenvolupat per Solórzano (1969) i conegut com el mètode colorimètric de l'Indofenol. Aquest procediment és colorimètric, és a dir, és mitjançant la espectrofotometria que es determina la quantitat d'amoni existent a l'aigua. D'aquesta manera, i per evitar la interferència produïda per la turbidesa de l'aigua residual, cal valorar si és necessari filtrar-la prèviament.

El rang de validesa del mètode està entre 0 i 1 ppm de N-NH_4^+ essent la relació (N-NH_4^+): NH_4^+ = 1:1,288. D'aquesta manera, per aigües amb concentracions superiors, cal diluir la mostra abans d'utilitzar el mètode.

El procediment que cal seguir és el següent:

1. Elaborar la recta de calibrat utilitzant mostres preparades amb diferents concentracions de N-NH_4^+ .
2. Preparar la mostra: Tal com diu el mètode, si la mostra presenta turbidesa, cal filtrar-la amb filtres de membrana de $0,45\ \mu\text{m}$ de mida del porus. En el cas de les mostres extreïdes del sistema d'aiguamolls, només les extreïdes dels decantadors presentaven turbidesa i per tant, han estat les úniques que s'han filtrat prèviament.

3. Prendre 50 ml de la mostra (filtrada o no) dins d'un erlenmeyer. Aquests 50 ml poden ser de mostra sense diluir en cas que el contingut d'amoni estigui entre 0 i 1 ppm o diluïda tan com sigui necessari en cas de continguts d'amoni superiors a 1 ppm.
4. Prendre 50 ml d'aigua desionitzada en qualitat de mostra blanca.
5. Afegir a les mostres i al blanc els següents reactius i en el següent ordre:
 - Ø 2 ml de Nitroprusiat de Sodi
 - Ø 2 ml de Solució alcohòlica de Fenol (10%)
 - Ø 5 ml de Solució Oxidant (recent preparada)

Després de cada adició cal agitar el contingut de l'erlenmeyer per tal de barrejar els reactius.

6. Deixar transcórrer 90 minuts i després mesurar l'absorbància de les mostres a una longitud d'ona de 640nm després d'haver ajustat a zero l'espectrofotòmetre amb la mostra blanca.

Per al càlcul de la concentració de $N-NH_4^+$ de la mostra s'utilitza la següent expressió:

$$N - NH_4^+ = \left[\frac{ABS_{mostra}}{m} \right] \cdot \frac{V_M}{V_{alícuota}}$$

On:

ABS_{mostra} és la lectura d'absorbància de la mostra

m és el pendent de la recta de calibratge

V_M és el volum de l'aforament del matràs utilitzat durant la dilució de la mostra.

$V_{alícuota}$ és el volum de la mostra presa per ser diluïda i utilitzada en la determinació colorimètrica.

8.1.1.3. Quantificació de la DQO total

La metodologia seguida per a la determinació de la DQO total i soluble és la següent:

1. Elaboració de la recta de calibrat utilitzant mostres preparades amb diferents concentracions d' O_2 .

2. Encendre el digestor i ajustar la temperatura a 150°C i el temps a 2h.
3. Preparar els tubs de digestió a la graella i afegir-hi els següents volums en el següent ordre:

Ø 2,5 ml de mostra (en el cas del blanc 2,5 ml d'aigua desionitzada)

Ø 1,5 ml de solució digestora

Ø 3,5 ml de solució d'àcid sulfúric

4. Tapar els tubs de digestió i agitar-los per tal d'homogeneïtzar la mostra.
5. Introduir els tubs al bloc digestor i deixar-los durant dues hores a 150°C.
6. Retirar els tubs del digestor i deixar-los refredar fins que estiguin a temperatura ambient.
7. Llegir l'absorbància de cadascun dels tubs, havent ajustat a zero l'espectrofotòmetre amb la mostra blanca.

De cada una de les mostres preses a la planta se n'analitzaran dues rèpliques pel que fa a la DQO. De cada rèplica es mesurarà l'absorbància col·locant el tub en quatre posicions diferents i s'anotarà el valor mínim. Agafant el valor mínim no només es minimitzen els efectes de les imperfeccions dels tubs sinó que la DQO resultant del càlcul és la màxima.

Per al càlcul de la DQO s'utilitza la següent expressió:

$$DQO = \left[\frac{ABS_{mostra}}{m} \right] \cdot \frac{V_M}{V_{alícuota}}$$

On:

ABS_{mostra} és la lectura d'absorbància de la mostra

m és el pendent de la recta de calibració

V_M és el volum de l'aforament del matràs utilitzat durant la dilució de la mostra.

$V_{alícuota}$ és el volum de la mostra presa per ser diluïda i utilitzada en la determinació colorimètrica.



Figura 23. Imatge de l'espectrofotòmetre utilitzat per a la determinació de la DQO.

8.1.2. El rendiment d'eliminació

Seguidament s'explica com es calcula el rendiment d'eliminació de cadascun dels paràmetres analitzats al laboratori per a poder caracteritzar l'aigua residual que s'està utilitzant. Aquests rendiments d'eliminació ens permeten determinar si el sistema d'aiguamolls funciona correctament. A més a més, si es comparen els rendiments al llarg del temps, es pot veure l'evolució en l'eliminació de nutrients des del inici del funcionament de la planta fins al cap d'uns mesos, quan els processos físics, químics i biològics que es produeixen dins l'aiguamoll s'han estabilitzat i amb ells els percentatges d'eliminació.

Per al càlcul del rendiment d'eliminació (ρ) s'utilitza la següent expressió:

$$\rho (\%) = \frac{\text{Quantitat eliminada } (\frac{g}{dia})}{\text{Quantitat existent a l'entrada } (\frac{g}{dia})} \cdot 100$$

8.2. ESTUDI 2

Aquesta ronda d'experiments que es duen a terme en aquest apartat de la tesina s'han dissenyat per a poder esbrinar i entendre el comportament que té el metà dins els aiguamolls, ja que amb el temps s'ha descobert que aquest no es comporta tal qual es pensava. Això té una explicació molt senzilla.

A estudis anteriors consultats, per a quantificar les emissions de metà s'utilitza una cambra tancada on s'acumula aquest. Sempre s'ha considerat que la concentració del metà

dins aquesta cambra és totalment homogènia. Aquesta homogeneïtzació, en principi l'ha de donar un ventilador que es connecta a la part superior de la cambra, però s'ha esbrinat que no és així. Per aquesta raó s'han seguit una sèrie d'assajos diferents per esbrinar perquè es dona aquesta no homogeneïtzació del metà dins la cambra i com es pot arribar a solucionar.

8.2.1. Quantificació de les emissions de metà. Simulació al laboratori

Per aquests experiments s'ha utilitzat una cambra construïda en una tesina passada. Aquesta cambra està constituïda per un ventilador, previst de tres potències diferents, que es troba dins la cambra a la part superior d'aquesta i per tres connexions situades en vertical per on s'extrauran les mostres durant els assajos. És la mateixa cambra que s'ha explicat a l'apartat 6.2. referent a les característiques de la cambra utilitzada.

A més d'aquesta cambra, per a poder realitzar els experiments d'aquest apartat, s'ha utilitzat el següent material:

- Ø Xeringa per dopar la cambra (per introduir metà dins la cambra).
- Ø Xeringues per extreure les mostres (idèntiques a les utilitzades per al mostreig a la planta d'aiguamolls)
- Ø Bombona de gas patró (amb un contingut teòric del 7,7% de CH_4)
- Ø Safata blanca de plàstic
- Ø Plaques de gel per mantenir l'aigua freda i evitar que l'evaporació incideixi en les mesures de metà.
- Ø Termòmetre extern per mesurar la temperatura de l'aigua
- Ø Sonda per mesurar la pressió tan de la bombona (per conèixer la pressió a la que traiem el gas patró), com la pressió dins la cambra (per comprovar que efectivament, al extreure mostra, no es generen pressions negatives dins la cambra)
- Ø Cronòmetre

Seguidament es mostren unes fotografies dels materials empleats:



Figura 24. Fotografia xeringa que dopa



Figura 25 Fotografia xeringa extraure mostres



Figura 26. Fotografia de la sonda de pressió



Figura 27. Fotografia termòmetre



Figura 28. Fotografia bombona patró de metà

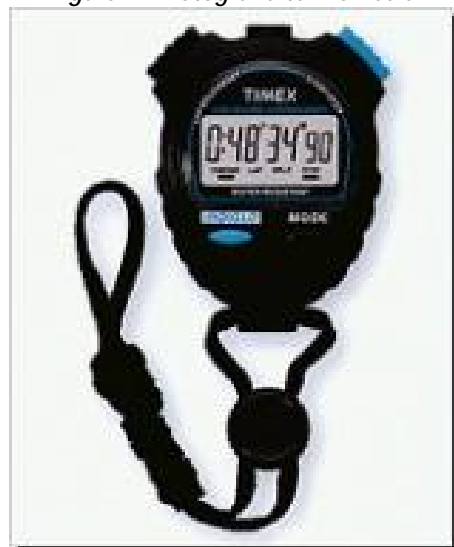


Figura 29. Fotografia cronòmetre

El muntatge a seguir durant tots aquests experiments és totalment el mateix:

1. Agafar safata de plàstic blanc i omplir-la d'aigua freda de l'aixeta uns 2-4 centímetres.

2. Ficar la cambra en posició invertida dins la safata, sense que cap de les connexions entri en contacte amb l'aigua.
3. Ficar les plaques de gel sobre l'aigua, per així mantenir la temperatura de l'aigua fresca i constant per a no influir al metà que s'introduirà.
4. Connectar una xeringa d'extracció de mostres a cadascuna de les connexions.
5. Encendre el ventilador i decidir potència (cada experiment es fa a potència diferent)
6. Agafar bombona de patró de metà (7.7% metà) i dopar la cambra amb la xeringa destinada a dopar (cada experiment es dopa amb quantitats diferents)
7. Deixar transcorre 5 minuts
8. Analitzar les mostres al cromatògraf.
9. Extreure 60 ml de cada xeringa per on s'extreuen les mostres.
10. S'utilitza la xeringa amb la que s'ha dopat el metà dins la cambra, per a extreure 0.5 ml de cada una de les mostres de 60 ml que s'han agafat de la cambra. Aquestes s'analitzen al cromatògraf.
11. Tornar a repetir l'experiment (desmuntar tot i deixar una estona que la cambra s'aïregi i ficar aigua nova)

A continuació es mostra una imatge de com quedaria tot el muntatge acabat i just per a poder ser usat:

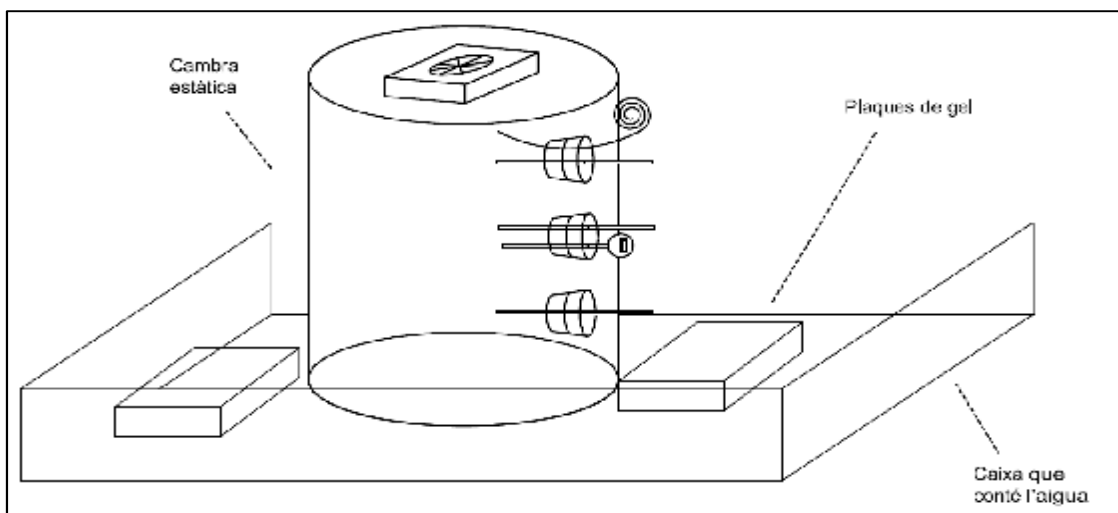


Figura 30. Esquema del muntatge per a fer els assajos



Figura 31. Fotografia del muntatge per a fer els assajos

Els paràmetres que diferenciarien cada experiment entre si són els següents:

- Ø La quantitat de metà introduïda a la cambra
- Ø El temps de pressa de mostres
- Ø La potència del ventilador
- Ø La manera de fer circular el metà dins la cambra

8.2.1.1. Experiment 1. Homogeneïtzació vers la potència del ventilador

En aquest experiment s'intenta estudiar quina dependència hi ha entre la homogeneïtzació de la cambra i la potència que té el ventilador. És a dir si en alguna de les tres potències del ventilador, el metà de dins de la cambra presenta homogeneïtzació o pel contrari no.

Els passos a seguir són molt senzills. S'han de dur a terme els passos esmentats a l'apartat anterior, però tenint en compte les següents especificacions.

1. Es fan 3 experiments amb dues rèpliques idèntiques
2. Cada experiment es dopat amb 0.5 ml de metà de la bombona patró, per la part xeringa inferior.
3. El ventilador es connecta a cadascun dels experiments amb potències de: 1. LOW 2. MEDIUM 3. HIGH

4. S'ha de deixar transcorre 5 minuts de la dopada per extreure les tres mostres.
5. Les mostres s'extreuen de baix a dalt.
6. Es realitzen dos experiments més idèntics a aquest però dopant en un d'ells 1ml de metà i a l'altre 4 ml de metà.

La figura que a continuació s'adjunta fa referència a com queda el muntatge per aquest assaig i especifica, esquemàticament quin és el funcionament d'aquest.

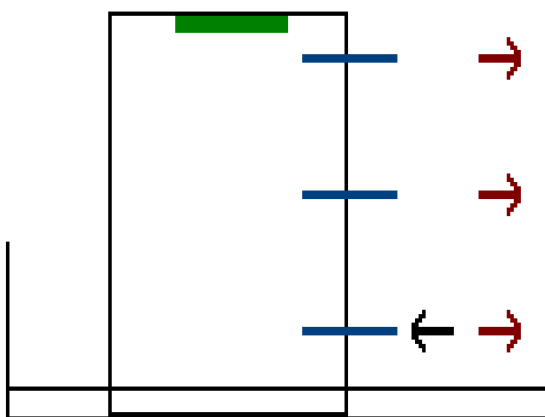


Figura 32. Esquema del procediment seguit als assajos

8.2.1.2. Experiment 2. Homogenització vers la potència del ventilador amb extracció única (tub foradat)

Com a l'assaig anterior s'ha pogut veure que a dopades de 1 ml de metà dins la cambra, aquest es comporta de manera més o menys estable, ara es vol estudiar que passa amb els límits de 0.5ml de metà i 4 ml de metà.

En aquesta sèrie d'assajos s'ha aplicat una petita variació. S'utilitza la mateixa cambra i el mateix muntatge però la dopada es fa per la xeringa o connexió inferior, i s'extreu una única mostra per la xeringa o connexió superior. És en aquesta on està la modificació més notable, ja que en aquesta s'ha incorporat un tub dins la cambra que va des de la connexió superior fins el mig de la cambra, a més, aquest tub està totalment forada per la seva superfície.

Amb aquesta petita modificació es vol veure si en una única extracció i, amb una tub que avarca la gran majoria de l'alçada de la cambra, la distribució del metà dins aquesta segueix sense homogeneïtat o pel contrari si.

El procediment d'aquest assaig és el següent:

1. Modificació amb un tub amb tota la seva superfície amb petits forats, des de la connexió superior i fins al mig de la cambra. (interior de la cambra)
2. Seguir el mateix muntatge que a l'apartat anterior.
3. Fer dopades de 0.5 ml i 0.4 ml de metà a les tres potències del ventilador (Low, Medium, High).
4. Al cap de 5 minuts de la dopada extreure 60 ml de mostra per la xeringa superior.
5. Airejar cambra, desmuntar l'assaig i tornar a començar amb les següents rèpliques.

8.2.1.3. Experiment 3. Homogenització vers la potència del ventilador amb tubs retallats.

Per estudiar la no homogeneïtzació perfecta del metà dins la cambra, i sobretot, un nou problema afegit de obtenir a tots els experiments menys quantitat de metà de lo teòricament esperat, s'ha prosseguit a seguir un nou experiment.

Per començar, s'ha fet una nova corba de calibratge, ja que es pensava que un dels possibles problemes es el treballa a rangs molt propers al límit de la corba. Després a la cambra se li ha fet una nova modificació derivada del nou problema sobre la quantitat de metà extreta.

En aquest cas s'anul·la el tub foradat que hi havia a l'assaig anterior i es tornen a tenir les tres connexions inicials. Es procedeix a tallar totes aquestes connexions fins a deixar-les el més curtes possibles, ja que una possible explicació de la pèrdua de metà podria ser, que aquest al moment de fer extraccions es queda atrapat o enganxat a les parets dels tubs d'extracció. A més es para molta cura al moment de fer les dopades i les extraccions, ja que l'envol de la xeringa es puja i baixa 3 cops per impedir que hi quedi metà dins el tub.

El procediment d'aquesta sèrie d'assajos és idèntica als primers experiments realitzats, on s'agafa una mostra per a cada alçada de la cambra i al cap de 5 minuts de fer la dopada.

1. Es fan 3 experiments amb dues rèpliques idèntiques
2. Cada experiment es dopat amb 0.5 ml de metà de la bombona patró, per la part xeringa inferior.
3. El ventilador es connecta a cadascun dels experiments amb potències de: 1. LOW 2. MEDIUM 3. HIGH
4. S'ha de deixar transcorre 5 minuts de la dopada per extreure les tres mostres.
5. Les mostres s'extreuen de baix a dalt.
6. Es realitzen dos experiments més idèntics a aquest però dopant en un d'ells 1ml de metà i a l'altre 4 ml de metà.

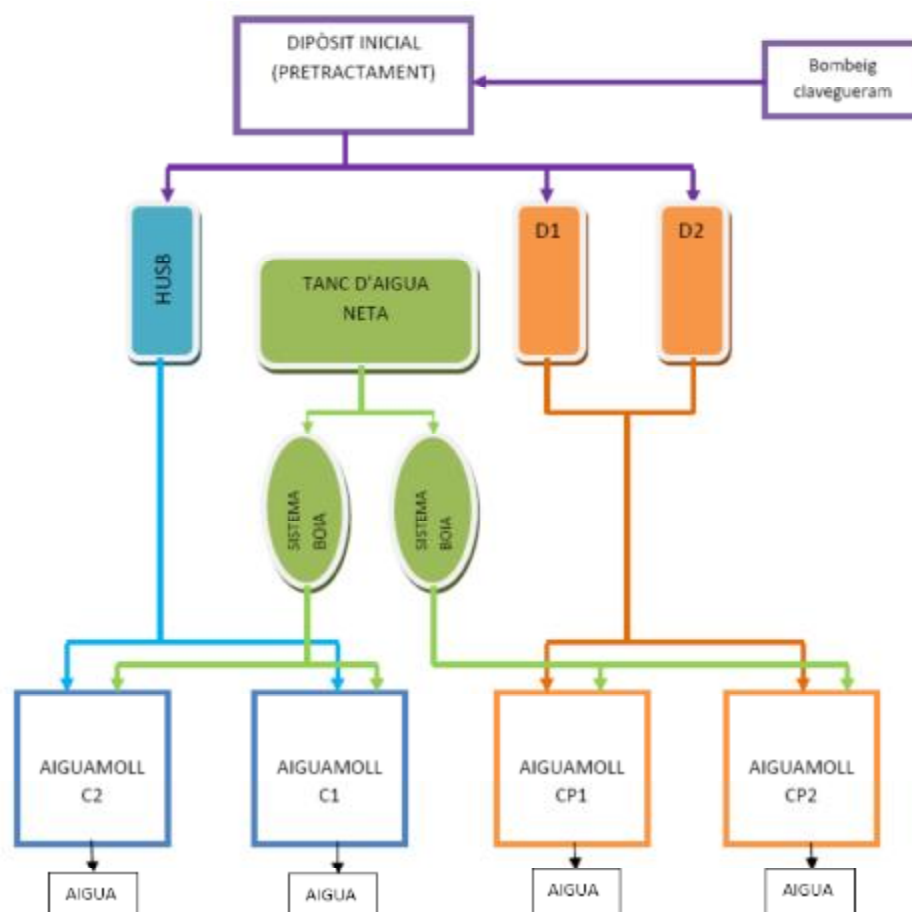
8.3. ESTUDI 3

Aquesta és l'última part de experimental d'aquesta tesina. Aquesta integrament s'ha fet als aiguamolls construïts que estan al sostre de l'edifici D1 de l'Escola de Camins, Canals i Ports de Barcelona. En aquesta es vol analitzar les emissions dels gasos d'efecte hivernacle que presenten aquests aiguamolls. És per això que s'han analitzat, com als assajos realitzats dins el laboratori, la quantitat de metà que els aiguamolls emeten.

Aquí també es vol veure si el tractament primari al que se li sotmet a l'aigua abans d'entrar per a ser depurada pels aiguamolls, intervé o infereix en les emissions.

Aquests assajos s'han fet per campanyes: campanya d'estiu, campanya de tardor i campanya d'hivern. Aquesta última campanya, per motius varis ha sigut impossible poder realitzar-la. La justificació de perquè fer aquests assajos mitjançant campanyes, és per veure i corroborar com varien les emissions dels aiguamolls segons l'estació de l'any a la que es trobin i segons a la temperatura a la que estiguin sotmesos. Abans s'ha explicat que les emissions varien segons molts factor i agents entre els quals es troben l'estacionalitat i la temperatura. Quanta més calor faci, les emissions creixeran proporcionalment.

Encara que el següent esquema ha sigut mostrar en apartats anteriors, es creu convenient afegir-lo de nou en aquest per a facilitar la comprensió dels assajos realitzats.



A continuació es mostren fotografies d'aquest sistema d'aiguamolls del sostre:



Figura 33. Fotografia dels aiguamolls utilitzats



Figura 34. Fotografia dipòsit inicial (pretractament)



Figura 35. Fotografia del HUSB



Figura 36. Fotografia dels decantadors

8.3.1. Metodologia dels assajos

El procediment seguit per a realitzar els assajos d'aquesta última part de la tesina és molt senzill. Durant tots aquest s'han seguit els mateixos passos i l'única variació que es pot contemplar en algun d'ells és el temps de presa de les mostres. La metodologia seguida és la següent:

1. Agafar el material corresponent a aquesta part: Safata de plàstic, pila per alimentar al ventilador, xeringues per extreure les mostres, metro, cambra estàtica.
2. Mesura l'alçada de l'aigua que hi ha al punt de mostreig.

Això es fa per dues raons:

- Ø Per assegurar que la cambra al ser clavada al punt de mostreig entra en contacte amb l'aigua. Això és degut a que com aquests assajos es realitzen durant els mesos de més calor, s'origina molta evaporació i el nivell d'aigua dins el punt de mostreig baixa molt.
 - Ø Per poder saber quin volum queda lliure dins la cambra, el qual és ocupat per metà i així poder calcular les emissions reals d'aquest.
3. Clavar la cambra a l'aiguamoll, al punt de mostreig i encendre el ventilador i termòmetre que aquesta porta afegit.
 4. Connectar una xeringa i fer la primera extracció a $t = 0$.

5. Anotar la temperatura que hi ha al moment de l'extracció.
6. Cada 10 minuts extreure una mostra amb xeringues diferents a ($t=10$ minuts; $t= 20$ minut, $t = 30$ minuts i $t = 40$ minuts)
7. Anotar la temperatura que hi ha al moment de cada una de les extraccions.
8. Recollir la cambra.
9. Analitzar les mostres al cromatògraf.
10. Repetir tots els punts anteriors a tots i cadascun dels 4 aiguamolls que formen la planta.

8.4. Obtenció dels resultats

Per a quantificar les emissions de metà dels aiguamolls s'utilitza un cromatògraf, que és un aparell que està preparat per a quantificar qualsevol mostra que sigui líquida o gasosa.

La cromatografia es caracteritza per ser un mètode que determina e identifica tots i cadascun dels components que formen una mescla complexa mitjançant un mètode físic. És per aquesta raó que té moltes aplicacions a qualsevol branca de la ciència. A través d'aquesta tècnica s'arriben a separar els components de la mescla que es vol analitzar, per tal d'obtenir-los en estat pur i així puguin ser utilitzats posteriorment. A més, la seva finalitat analítica i per tant, la més utilitzada, és la de determinar la proporció de cadascun dels components de la mescla.

Existeixen 9 tipus diferents de mètodes cromatogràfics, els que com a única diferència es troba la seva fase mòbil, que pot ser o líquida o gas. D'entre tots aquests, la tècnica utilitzada en concret a aquesta tesina, ha estat la de la cromatografia de gasos.

El funcionament del cromatògraf és molt senzill:

1. Amb una xeringa especial de vidre (Figura 24) s'introdueix al cromatògraf, a través d'un séptum, 0.5 mil·lilitres de metà, directament extret de la xeringa de mostra.
2. La quantitat de mostra introduïda és arrossegada per una fase mòbil, que no és més que un gas portador inert, que té la funció de transportar la mostra dins de la columna detectora del cromatògraf. Aquesta columna és la que té com a objectiu determinar e

identificar els components que estan presents a la mostra analitzada. Per això és en aquest lloc on es troba la fase estacionària del procés, on mitjançant una retenció selectiva, els components de la mostra surten separatament.

3. Al passar la totalitat de la mostra per tota la columna, al final d'aquesta s'hi troba un detector el qual genera un senyal registrable. Aquest senyal es mostra en forma de corba, la que ens dona la informació de la quantificació del gas.
4. Per poder generar aquest senyal registrable, abans de tot, s'ha de crear una corba patró de metà (ja que és el gas que volem determinar), la que es crearà mitjançant la introducció de concentracions de metà conegudes. Un cop feta la corba patró, el cromatògraf està totalment preparat per a determinar el volum i/o concentració de metà que contingui cada mostra analitzada.

És a continuació on es mostra un exemple de senyal que s'enregistra durant un anàlisi d'una mostra provinent dels aiguamolls. Aquí es pot veure com la mostra durant un temps s'analitza i, de cop i volta, apareix un pic que determina la quantitat de metà que hi ha a aquella mostra. Aquesta quantificació es fa a través de l'àrea del pic. Després d'aquest pic, i per assegurar que la columna queda lliure de tota la mostra, i assegurar que al següent anàlisi no hi queda cap resta de la mostra antiga, es genera una corba de temperatura a la part final d'aquesta, on si queden traces de qualsevol altre component que no es vulgui detectar a l'anàlisi, aquest sigui eliminat. Aquest últim tram de l'anàlisi no té cap tipus d'importància a la quantificació del metà.

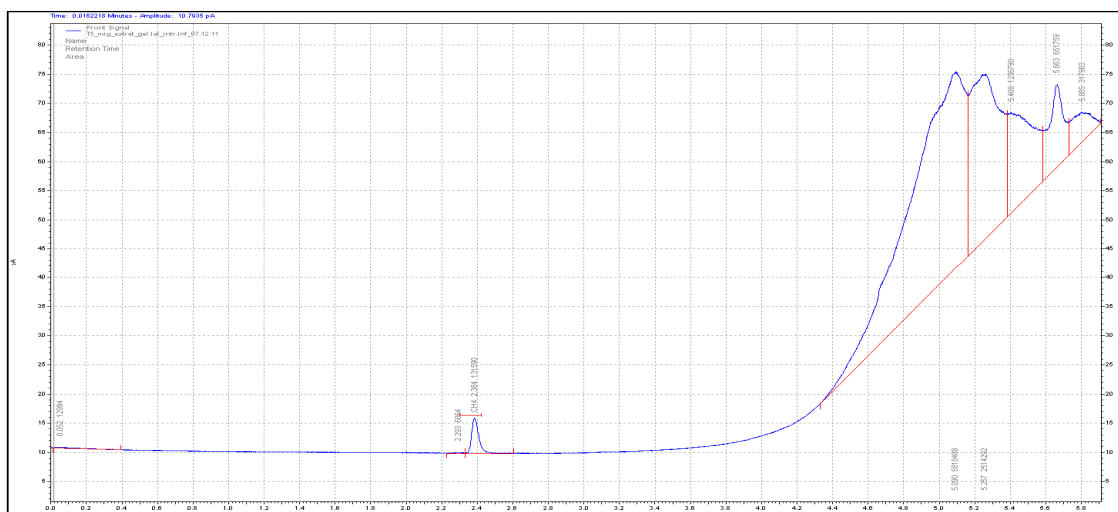


Figura 37. Imatge de lectura d'una mostra de metà dels aiguamolls construïts al cromatògraf

8.4.1. Creació de la recta patró

Per a poder construir la recta patró s'han de seguir uns passos molt senzills que sempre seran els mateixos.

S'ha de tenir ben clar que el gas que patró que s'utilitza és sempre el gas amb l'element que es vol detectar al cromatògraf, concretament en aquest cas aquest gas conté una concentració de CH₄ teòrica del 7%. Per aquesta raó, el volum que obtindrem al cromatògraf no serà exclusivament de metà, sinó que només ho serà el 7% d'aquest:

$$V_{\text{metà}} = \text{Crom} \cdot 0,07$$

On:

$V_{\text{metà}}$ és el volum de metà dins la mostra

Crom és el valor en unitats de volum de gas que ens dona el cromatògraf.

Composició	Metà - CH ₄	Absoluta	70.000 ppm
		Relativa	7 %
	Heli - He	Absoluta	923.000 ppm
		Relativa	92,3 %
Incertesa CH ₄	Absoluta	1.500 ppm	
	Relativa	0,15 %	

Taula 7. Caracterització del gas per a la recta patró de CH₄

8.4.2. Càlcul de la massa de metà de les mostres

Es segueix la Llei dels gasos ideals per a poder calcular la massa de metà (grams) que hi ha present a cada mostra. Seguidament es mostra el procediment.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

On:

P és la pressió a la que vam introduir el gas al fer la recta patró.

V és el volum de existent dins la mostra analitzada.

n és el número de mols existents dins la mostra analitzada.

R és la constant dels gasos i pren un valor de 0,082 L·atm/mol/K.

T és la temperatura a la que vam introduir el gas al fer la recta patró.

La fórmula anteriorment esmentada fa referència a la Llei de gasos ideals. A través d'aquesta, un cop introduint totes les variables conegudes, es troben els mols de metà que conté la mostra analitzada. Per filar més prim i trobar la massa (en grams) de metà s'ha d'aplicar la següent fórmula, sabent en tot moment que el pes molecular del metà es de 16 g/mol.

$$m = n \cdot M$$

On:

m és la massa de CH₄

n és el número de mols de CH₄

M és el pes molecular de CH₄

9. RESULTATS I DISCUSSIÓ

A continuació, al llarg de tot aquest apartat es presenten tots i cadascun dels resultats que s'han obtingut de cada un dels assajos realitzats tant al laboratori com als aiguamolls construïts del sostre de l'edifici D1 de l'Escola de Camins, Canals i Ports de Barcelona.

Aquests es presenten seguint el mateix format i ordre que l'apartat anteriorment descrit (Part Experimental: Material i mètodes), és a dir, separats en tres grans blocs. És per això que en primer lloc es troben tots els resultats provinents de la caracterització de l'aigua tractada: quantificació de la MES, contingut d'amoni i la DQO total. Al segon bloc es troben tots aquells assajos que s'han fet mitjançant simulacions al laboratori en referència al comportament dels aiguamolls construïts: homogenització vers la potència del ventilador, homogenització vers la potència del ventilador amb extracció única (tub foradat) i homogenització vers la potència del ventilador amb els tubs retallats. A més es mostra de manera conjunta un resum de totes les gràfiques obtingudes en aquest apartat. A l'últim bloc es mostren tots els resultats derivats dels assajos realitzats a la planta pilot del sostre de l'edifici, que fan referència a les emissions dels aiguamolls que allà hi ha.

9.1 ESTUDI 1

9.1.1. Caracterització de l'aigua residual tractada

9.1.1.1. Quantificació de la Matèria en Suspensió (MES)

Per corroborar que el sistema funciona en perfectes condicions i que els aiguamolls fan la seva funció sense cap problema, la MES de les mostres agafades a la sortida dels aiguamolls ha de ser molt més petita que la MES de les mostres d'entrada. Al nostre cas tots els resultats obtinguts de MES han sigut totalment correctes.

Les següents tres taules que s'afegeixen a continuació representen tres dels anàlisis de MES que s'han fet durant el transcurs d'aquesta tesina. A tots ells es pot observar que la quantitat de MES és superior a les mostres d'entrada que a les de sortida.

NOTA: Les mostres que porten com a etiqueta una E, fan referència a les mostres de entrada de l'aiguamoll en qüestió. Per altra banda les que porten una S, fan referència a les de sortida.

Mostra	Pes paper filtre (g)	Pes paper + mostra (g)	Mostra filtrada (ml)	MES (mg/l)
EC1	0,1241	0,127	50	0,058
ECP1	0,1259	0,1266	50	0,014
SC1	0,1295	0,1312	50	0,034
SCP1	0,1331	0,1363	50	0,064

Taula 8. Anàlisi 1 per a la quantificació de la MES

En aquest cas només s'han pogut analitzar les mostres dels aiguamolls C1 i CP1 ja que aquella setmana d'anàlisi, els altres dos (C2 i CP2) presentaven problemes amb l'aigua i van romandre tancats.

Mostra	Pes paper filtre (g)	Pes paper + mostra (g)	Mostra filtrada (ml)	MES (mg/l)
EC1	0,1299	0,1512	48	0,444
EC2	0,1222	0,1316	56	0,168
ECP1	0,1332	0,1407	55	0,136
ECP2	0,125	0,126	62	0,016
SC1	0,1274	0,129	78	0,021
SC2	0,1157	0,117	71	0,018
SCP1	0,1441	0,1457	100	0,016
SCP2	0,1301	0,131	100	0,009

Taula 9. Anàlisi 2 per a la quantificació de la MES

Mostra	Pes paper filtre (g)	Pes paper + mostra (g)	Mostra filtrada (ml)	MES (mg/l)
EC1	0,1336	0,1371	55	0,064
EC2	0,143	0,1453	56	0,041
ECP1	0,1438	0,1463	44	0,057
ECP2	0,1344	0,1372	65	0,043
SC1	0,147	0,1491	54	0,039
SC2	0,1321	0,1350	37	0,078
SCP1	0,1511	0,1516	41	0,012
SCP2	0,1321	0,1344	17	0,135

Taula 10. Anàlisi 2 per a la quantificació de la MES

9.1.1.2. Quantificació d'amoni

A continuació es mostren els resultats que s'han obtingut de fer els assajos per a la quantificació d'amoni que hi ha a les mostres. És per això que s'adjunten dues taules: A la primera es resumeixen totes les dades obtingudes a partir dels assajos al laboratori, en quant a la concentració d'amoni de totes les mostres. A la segona apareixen els promitjos de les concentracions d'amoni obtingudes a dits assajos.

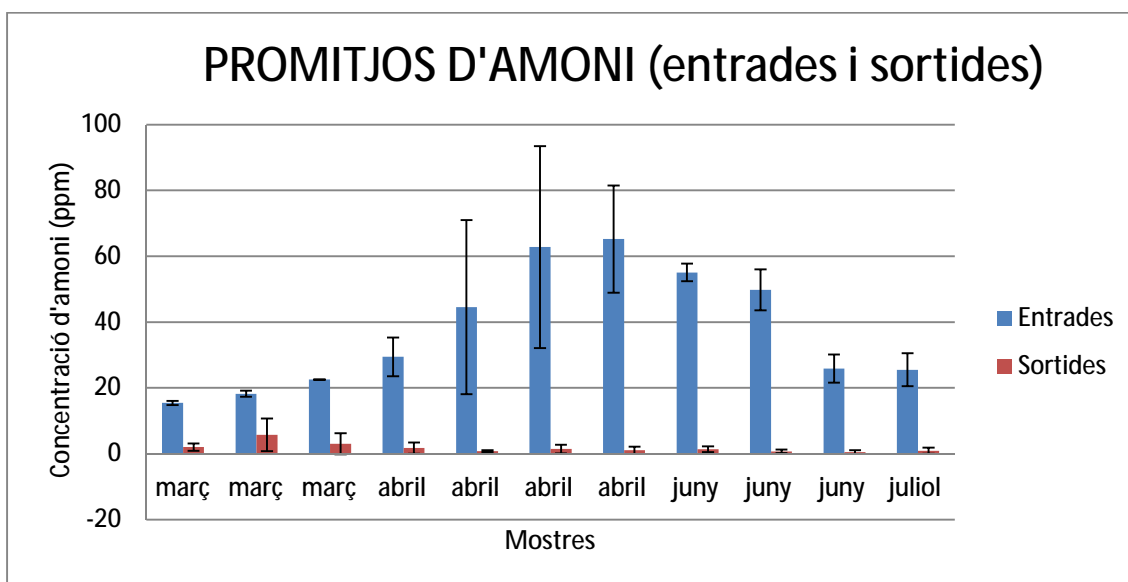
HUSB		DECANTADOR		HUSB		DECANTADOR	
ENTRADES				SORTIDES			
Concentració d'amoni (mg/l)							
EC1	EC2	ECP1	ECP2	SC1	SC2	SCP1	SCP2
14,824	16,333	15,112	15,4	2,873	0,703	1,449	2,912
18,912	19,066	17,068	17,375	7,369	11,929	0,625	3,117
22,51	22,549	----	---	6,906	4,246	0,487	0,296
31,32	36,826	25,408	24,125	4,087	1,756	0,954	0,11
57,961	60,934	5,115	54,071	0,815	0,522	0,966	0,306
63,66	63,66	24,34	99,418	1,497	0,595	3,273	0,323
60,563	89,06	52,663	58,58	0,282	2,607	0,358	0,803
57,465	56,226	55,236	51,27	1,026	2,019	2,077	0,251
56,35	55,359	43,96	43,601	0,316	1,012	1,291	0,191
28,101	30,703	23,157	21,484	1,279	0,359	0,144	0,029
29,228	30,405	20,679	21,732	2,209	0,18	0,687	0,577

Taula 11. Dades obtingudes als assajos per a la determinació de la concentració d'amoni de les mostres

HUSB		DECANTADOR		HUSB		DECANTADOR	
ENTRADES				SORTIDES			
Concentració Promig d'amoni (mg/l)							
EC1	EC2	ECP1	ECP2	SC1	SC2	SCP1	SCP2
40,081	28,309	2,605	1,119	43,738	36,523	2,357	0,81

Taula 12. Promitjos de la concentració d'amoni obtinguts als assajos

Seguidament es mostra una gràfica on es representen els promitjos de les entrades i les sortides de cada dia de mostreig de la concentració d'amoni.



Gràfica 1. Promitjos de la concentració d'amoni a les entrades i sortides

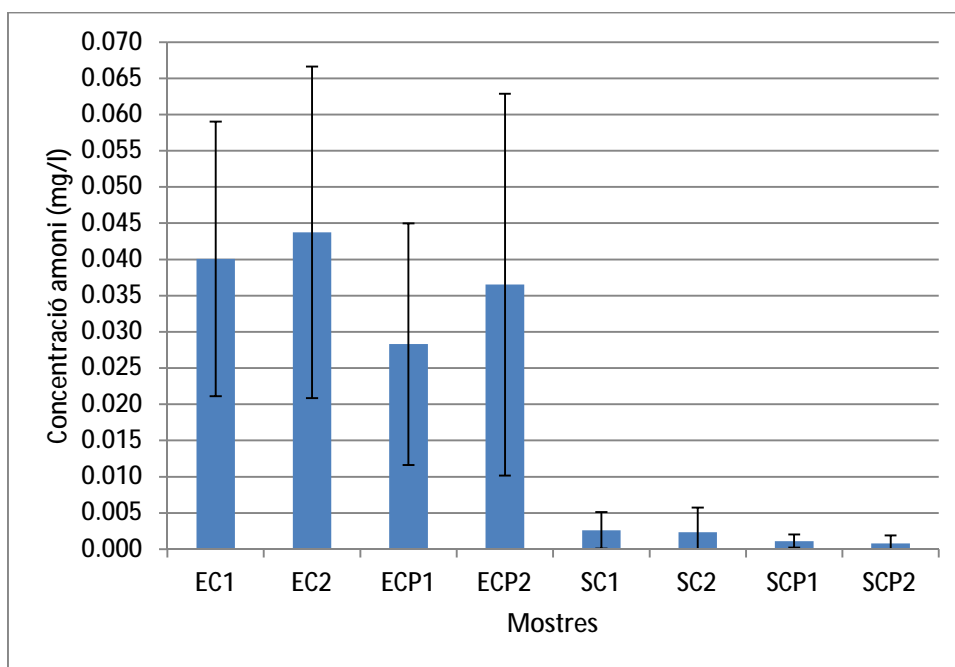
A la gràfica es s'observa que les dades obtingudes són les esperades, ja que la concentració d'amoni a les entrades de cada aiguamoll és molt més elevada que a la sortida de cadascun d'ells. Això corrobora que aquests fan la seva funció de degradació de la MO, en quant a nitrats, de manera correcta. A més com és d'esperar, totes aquelles mostres que presenten una concentració més elevada, tenen una desviació major dels seus resultats.

Cal remarca que una possible explicació de tanta variació entre unes dades i altres, que en alguns casos arribar a ser de més del doble, pot ser perquè en algunes ocasions s'han presentat problemes a la planta, tals com: mal funcionament, parada completa de la planta, entre d'altres. Així que si ha donat la casualitat que hi ha hagut una parada total de la planta, el sistema tant de decantació com el del H.U.S.B. no han pogut fer el seu treball en condicions perfectes, originant així que no hi hagués una prèvia eliminació de components que afectin a la concentració d'amoni. Però lo important és que en tots el casos s'ha respectat la tendència correcta de que la concentració d'amoni és molt inferior a les entrades que a les sortides, cosa que corrobora que el funcionament dels aiguamolls és correcte.

Durant l'anàlisi també s'arriba a la conclusió que el tractament primari que millor funciona en quant a l'eliminació de nitrats és la decantació, ja que les mostres d'entrada provinents d'aquesta (D1 i D2), que fan referència a les mostres ECP1 i ECP2, tenen un contingut d'amoni bastant més baix que les mostres d'entrada dels aiguamolls que reben aigua directament del H.U.S.B., com són les mostres EC1 i EC2. Com a conseqüència d'això, aquest fet també es veu reflexat a les mostres de sortida, sent les mostres dels decantadors SCP1 i

SCP2, les més baixes i les del H.U.S.B. més elevades. Es per això que es pot afirmar que la decantació té més eficiència que el mètode de hidròlisi. Al següent gràfica es mostra aquest fet. A més com és d'esperar, totes aquelles mostres que presenten una concentració més elevada, tenen una desviació major dels seus resultats.

Fixant-nos en la desviació que presenten totes les dades, és aquí que també es pot corroborar que la existent variabilitat dels resultats bé donada pels diferents problemes que ha presentat la planta pilot durant el transcurs de tots els dies d'anàlisi. Totes les parades de la planta i mal funcionament d'aquesta, venen donades per diferents motius tals com, fallada del propi sistema ja sigui per vessament o fuga d'aigua per alguna de les seves connexions, connexions que es degraden i acaben trencant-se, baixades de llum i per tant, la parada total de tot el sistema d'aiguamolls. El fet de que hi hagi tants aparells connectats a l'hora i al mateix quadre elèctric fa que el sistema falli molt. També ha pogut afectar que hi ha molta gent treballant alhora i desequilibren el sistema. Un altre factor que fa variar aquests resultats són les condicions climàtiques que es presentin, ja que a mesos més propers a l'estiu i per tant a l'època de molta calor, la evaporació de l'aigua i la evotranspiració de les plantes és molt més alta que a èpoques on no hi ha tanta diferència de temperatura.



Gràfica 2. Promitjos de la concentració d'amoni a les entrades i sortides

Per últim, la diferència abismal que presenten les concentracions d'amoni de sortida vers les de les entrades també es pot explicar per la següent raó. A més de que els

microorganismes presenten un al rendiment en la degradació de la matèria orgànica, s'ha de fer referència a que les plantes també juguen un paper important al procés d'eliminació de l'amoni. Les plantes potencien l'oxigenació del medi dins l'aiguamoll, i com ja s'ha vist a l'apartat 3.3 sobre els mecanismes d'eliminació dels agents contaminants i, més concretament, al 3.3.3. sobre l'eliminació del nitrogen, aquest procés d'eliminació requereix d'oxigen per dur-se a terme. És per això que es pot explicar que l'eliminació de l'amoni ofereixi tant bons resultats, ja que tots els aiguamolls estan dotats per una bona capa de vegetació.

9.1.1.3. Quantificació de la DQO total

A continuació es mostren els resultats obtinguts dels assajos per a quantificar la DQO total que tenen les mostres que s'han analitzat. És per aquesta raó que s'adjunten tres taules. A la primera s'enregistren totes les dades obtingudes als assajos de la quantificació de la DQO total a les entrades i sortides. La segona no és més que un resum de les mitjanes i desviació estàndard de tots els resultats obtinguts, i l'última d'elles mostra el percentatge d'eliminació de MES que presenta cadascun dels tractaments primaris pels quals l'aigua ha sigut sotmesa.

H.U.S.B.		DECANTADOR		H.U.S.B.		DECANTADOR	
Concentració DQO (g DQO/dia)							
ENTRADES				SORTIDES			
EC1	EC2	ECP1	ECP2	SC1	SC2	SCP1	SCP2
234,62217	286,4215	350,4891	158,2863	207,3594	49,235058	54,68762	77,86101
173,28084	182,8228	150,1075	212,8119	92,85555	91,492414	68,319025	177,3703
490,89258	872,5719		259,1587	30,15109	16,519686	19,245967	92,85555
249,61671	267,3375	291,8741	263,2481	66,95588	87,402992	72,408447	47,87192
929,82382	662,6483	233,259	276,8795	129,6603	191,00167	49,235058	42,41936
289,14779	256,4324	219,6276	203,2699	161,0126	246,89043	15,156546	24,69853
470,44547	360,0311		443,1827	196,4542	272,7901	161,01258	73,77159
351,852	234,622	132,387	205,336	155,56	623,117	237,348	173,281
114,66	121,482		0,162	433,033	212,812	60,14	204,633

Taula 13. Dades obtingudes als assajos de la quantificació de DQO total a les entrades i a les sortides

MOSTRA	MITJANA	DESVIACIÓ
	g/DQO dia	g/DQO dia
EC1	405,404	260,572
EC2	360,486	245,726
ECP1	229,624	82,915
ECP2	224,704	116,691
SC1	163,671	116,707
SC2	199,029	182,896
SCP1	81,950	71,901
SCP2	101,64	66,344

Taula 14. Mitjana i desviació estàndard del contingut de DQO a les mostres

Aquesta taula mostra una altra particularitat del sistema, ja que s'observa que tant la mitjana com la desviació estàndard en referència a la quantificació de la DQO total que es determina als aiguamolls amb aigües provinents dels decantadors, tant a les entrades com a les sortides, és molt més baixa que als aiguamolls tractats amb aigües procedents del H.U.S.B. Només cal fixar-se en els resultats obtinguts per les mostres EC1, EC2, SC1 i SC2 (aigües dels decantadors) i les mostres ECP1, ECP2, SCP1 i SCP2 (aigües del H.U.S.B.).

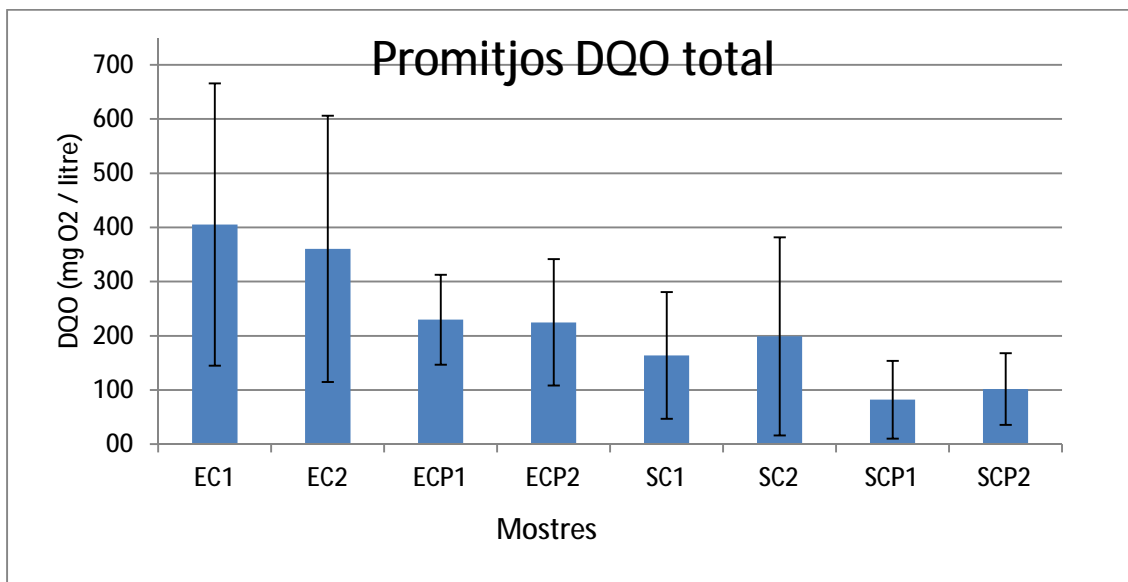
	SORTIDES		ENTRADES		% eliminació	
	Decant.	HUSB	Decant.	HUSB	Decant.	HUSB
TOTAL	61,844	125,401	238,092	242,460	74,0%	48,3%

Taula 15. Percentatges d'eliminació de DQO a la decantació i al H.U.S.B.

Com es pot observar en aquestes dues taules, la DQO total calculada als assajos és molt més elevada a les entrades que a les sortides tant del HUSB com del decantador. Aquest és un comportament coherent, el qual es d'esperar, ja que els aiguamolls degraden la MO, i per tant, la DQO a la sortida d'aquests ha de ser inferior que a l'entrada. Per altra banda es pot dir que la decantació, com a tractament primari en l'aigua residual, presenta percentatges d'eliminació bastant més elevats que el H.U.S.B. Es pot dir que aquest tractament primari és més eficient.

Com a conclusió general de l'Estudi 1 d'aquesta tesina. Mirant la caracterització de l'aigua residual analitzada es pot dir que els aiguamolls utilitzats en aquesta tesina tenen un

bon funcionament i es pot assegurar que són un bon sistema de depuració d'aigua residual urbana.



Gràfica 3. Promitjos de DQO totals

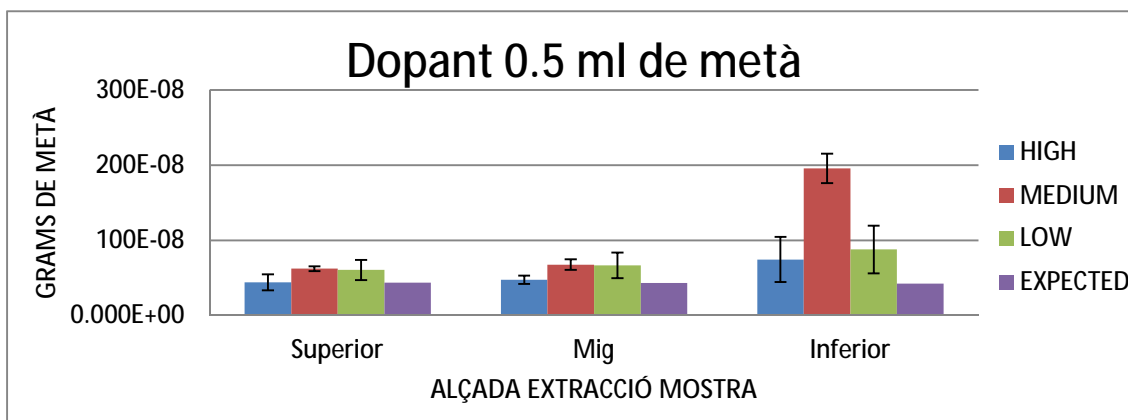
9.2. ESTUDI 2

9.2.1. Quantificació de les emissions de metà. Simulació al laboratori

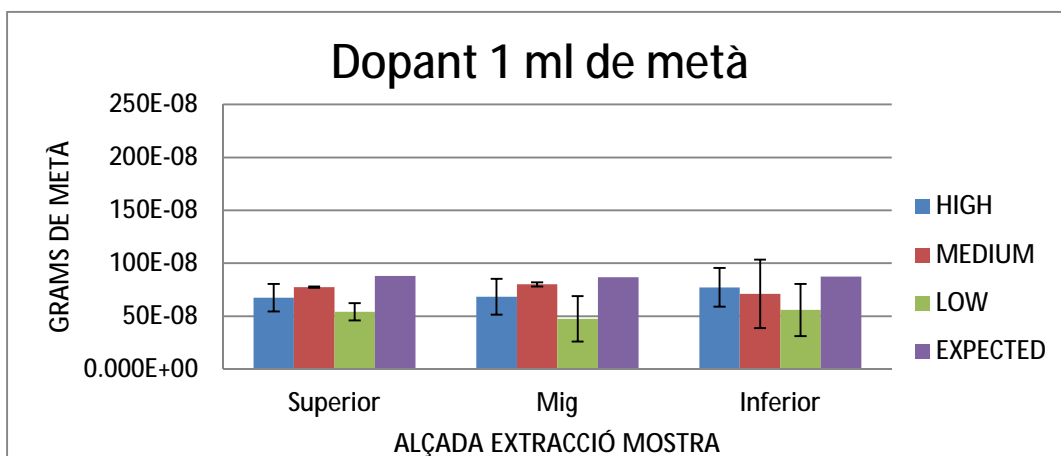
9.2.1.1. Experiment 1. Homogeneització vers la potència del ventilador

A continuació s'adjunten tres gràfiques on s'enregistren els resultats obtinguts de fer l'experiment 1.

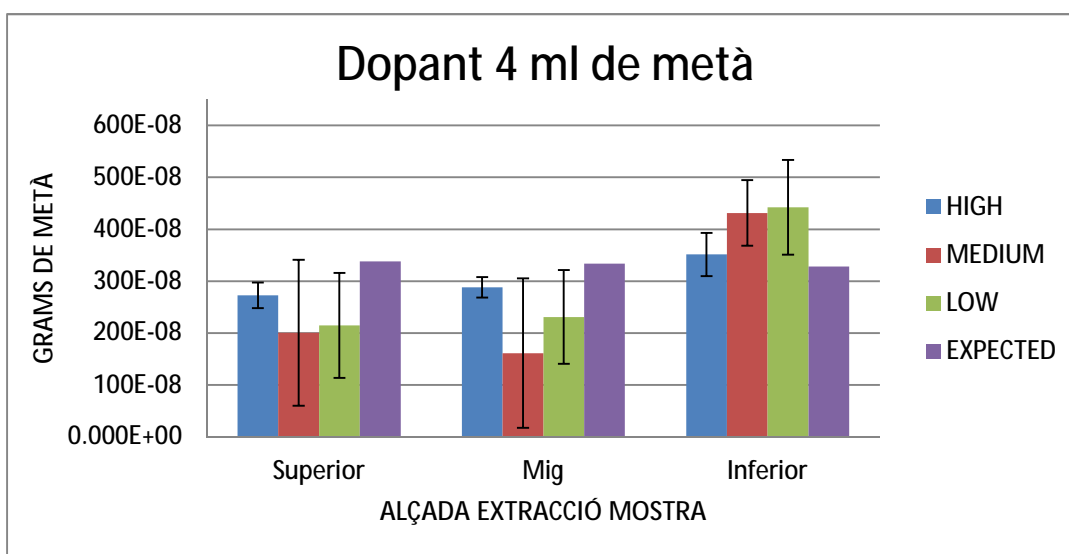
Els resultats obtinguts són els següents:



Gràfica 4. Experiments dopant 0.5 ml de metà. Massa de metà en grams



Gràfica 5. Experiments dopant 1 ml de metà. Massa de metà en grams



Gràfica 6. Experiments dopant 4 ml de metà. Massa de metà en grams

Aquestes tres gràfiques representen la massa de metà, en grams, que hi ha a cadascuna de les mostres analitzades. Es pot observar que hi ha una gràfica per a cadascun dels tres assajos diferents que s'han fet, on en primer lloc s'ha dopat la cambra introduint 0.5 ml de metà, després introduint 1 ml de metà i per últim 4 ml d'aquest.

Les conclusions i observacions que es poden treure al analitzar cadascun dels gràfics són les següents:

Si observem la gràfica 4, on estan representades totes les masses en grams de metà obtingudes dels assajos introduint 0.5 ml de metà, es pot dir:

En aquest cas la massa de metà és bastant homogènia donant gairebé els mateixos resultats a les alçades mitja i superior de la cambra (rondant els $5 \cdot 10^{-6}$ grams). En canvi a l'alçada més baixa de la cambra totes les mostres analitzades han donat valors de massa bastant més elevats que a les demés alçades (valors entre $6 \cdot 10^{-7}$ i $2 \cdot 10^{-7}$ grams). Un punt important al que se li ha de prestar atenció és a la desviació estàndard que presenten els resultats, ja que aquesta ens dona la informació de quanta variabilitat hi ha entre cadascuna de les rèpliques que s'han fet de cada experiment. És per això que es pot veure que tots els resultats tant a alçades superiors com a alçades mitges presenten una variabilitat bastant baixa, el que vol dir, que els resultats a les rèpliques han sigut molt iguals. En canvi al cas de les dades a alçades inferiors aquesta variabilitat ha sigut molt més notable. Aquesta gràfica també mostra la massa de metà teòrica que hi hauria d'haver a cadascuna de les alçades, apreciant-se que a totes elles s'hauria d'esperar una massa de metà molt més baixa a la que s'ha obtingut.

Les observacions que es poden fer un cop analitzada la gràfica 5, on estan recollides les dades dels assajos introduint a la cambra 1 ml de metà són les següents:

A aquesta gràfica es pot apreciar que la massa de metà a totes les alçades de la cambra es gairebé la mateixa, rondant totes elles entre $7 \cdot 10^{-7}$ grams de metà. En aquest cas també es torna a repetir el mateix fet que als experiments de 0.5 ml de metà, en referència a la variabilitat de les dades a la part inferior de la cambra. En aquest punt la desviació estàndard que presenten les dades es bastant més alta que a les demés alçades. Per altra banda, al cas de la massa de metà teòrica que s'hauria d'esperar d'aquests experiments és, el cas contrari al passat cas, on aquest hauria de ser una mica més elevat del que s'ha analitzat. En aquest experiment es pot dir que els resultats ofereixen gairebé una bona homogenitat.

Per últim i per comentar l'última de les gràfiques amb els experiments amb dopades de 4 ml de metà, es pot dir el següent:

Els resultats d'aquests experiments són els que presenten una variabilitat altíssima. Tant en la diferència de massa trobada a cadascuna de les tres alçades, com en la desviació estàndard que presenten els resultats. Com és lògic les masses de metà trobades són molt més altes que als demés experiments, ja que s'ha dopat la cambra amb un volum de metà molt més alt. En aquest cas, la massa teòrica de metà esperada a alçades superiors i mitja és bastant

més alta que la que conformen les mostres, i en canvi, a la part inferior aquesta ha sigut molt més baixa del que s'ha trobat.

Si s'ha de fer una comparació de tots els gràfics d'aquests experiments, es poden treure les següents conclusions.

Si es fa una ullada general a la tendència que presenten les masses de metà a cadascuna de les diferents dopades, es pot observar que aquestes segueixen un comportament coherent, sent les de 0.5 ml les més baixes i les de 4 ml les més altes. En canvi, si s'observa de més a prop, es pot determinar que aquestes no han sigut les que s'esperaven, ja que la diferència que hi hauria d'haver entre les dopades de 0.5 ml i 1 ml hauria de ser de gairebé el doble, i en canvi aquesta diferència no ha sigut tal. El mateix cas passa amb els assajos amb dopades de 4 ml, que encara que presentin una massa de metà molt més gran que les demés, aquesta diferència no és ni de ben a prop de 4 vegades més. Al principi es va pensar que aquest fet venia donat per una possible pèrdua de metà per part de la cambra, però aquesta opció es va acabant desestimant. L'altra opció que es va pensar va ser que segurament estàvem treballant en rangs de concentració que tocaven amb el límit de la corba de calibratge que estava estipulada al cromatògraf. Sempre s'ha pensat que aquesta ha sigut la nostra limitació en aquests assajos, però abans de canviar la corba de calibratge i fer-ne una de nova, per assegurar que fos aquesta opció i no una altra, es van seguir fent una sèrie més d'assajos per intentar corroborar-la o desestimar-la.

Una altra observació que es pot fer és que s'aprecia que existeix estratificació de metà dins la cambra, és per aquesta raó que a tots els assajos s'obté una massa de metà més elevada a les mostres extretes per la part inferior de la cambra, ja que és el lloc per on es dopa a la cambra amb metà. Entre aquesta apreciació i la possible diferència significativa entre les densitats del metà i de l'aire, que respectivament són de $0,717 \text{ kg/m}^3$ i $1,2 \text{ kg/m}^3$, s'ha arribat a plantejar que aquest fenomen pot ser susceptible d'alterar els resultats. Aquest fenomen està contemplat a la bibliografia a Livingston and Hutchinson, 1995, on s'explica que aquesta podria ser la causa important del biaix en l'estimació de la massa de metà. A més, el fet de la possible estratificació del gas dins la cambra s'ha intentat combatre amb la introducció d'un ventilador a la part superior interna de la cambra, ja que a Levy et al. 2011; Healy et al. 1996, de la bibliografia es motivava a introduir aquest equip per homogenitzar el gas dins la cambra. S'ha comprovat d'aquesta manera que aquest fet tampoc es pot arreglar amb el ventilador, ni a qualsevol potència que aquest tingui. Si és cert que els resultats que ofereix el ventilador són

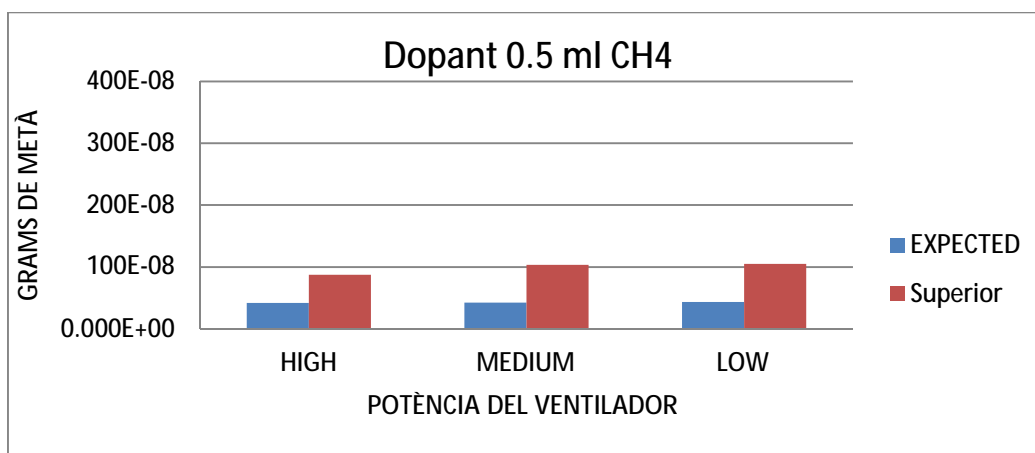
millors que si aquest no hi fos, però no són tant bons com per dir que el gas dins la cambra ronda homogeni.

Seguint parlant del ventilador, i fixant-nos en la potència d'aquest, es pot dir que a potències baixes i mitges, l'homogenització de la cambra és una mica més bona, en canvi a potències altes, degut a que es crea un pertorbació entre el gas de dins i les fluctuacions que presenta l'aigua degut a la pressió que exerceix el ventilador, l'homogenització del gas es torna a veure afectada.

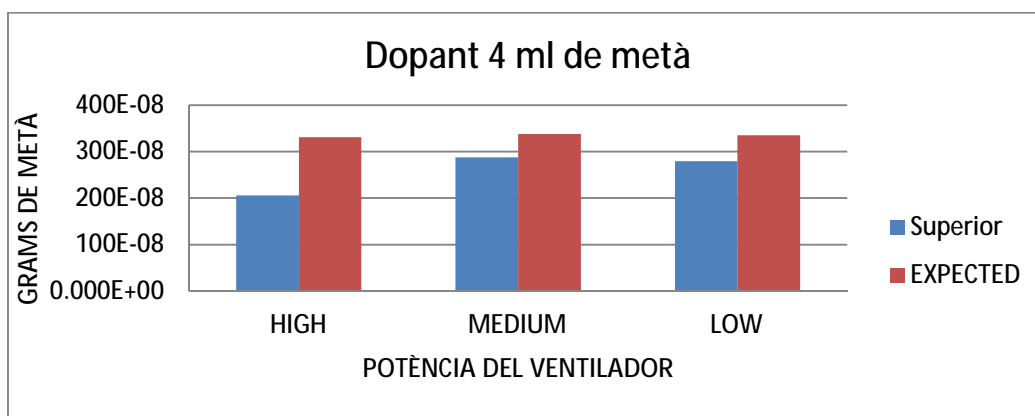
9.2.1.2. Experiment 2. Homogeneització vers la potència del ventilador amb extracció única (tub foradat).

Com a l'assaig anterior s'ha pogut veure que a dopades de 1 ml de metà dins la cambra, aquest es comporta de manera més o menys estable, ara es vol estudiar que passa amb els límits de 0.5ml de metà i 4 ml de metà.

A continuació es mostren les gràfiques obtingudes en aquests assajos.



Gràfica 10. Assaig tub foradat dopant 0.5 ml de metà



Gràfica 11. Assaig tub foradat dopant 4 ml de metà

Aquestes dues gràfiques representen els grams de metà extrets a cada mostra a les tres diferents potències del ventilador. S'observa que com és coherent, als assajos amb dopades de 0.5 ml de metà, les mostres tenen menys quantitat d'aquest component, i per a dopades de 4 ml, aquestes tenien gairebé 4 vegades més. Per altra banda s'observa que a l'assaig de 0.5 ml, a les tres potències, la quantitat de metà ha estat més o menys constant, en canvi a l'assaig de 4 ml aquest ha sigut constant a potència mitja i baixa. Això pot ser degut a que a potència alta el ventilador pot generar perturbacions i oscil·lacions dins la cambra impedit la bona distribució del metà dins aquesta, cosa que fa referència Levy et al. 2011; Healy et al. 1996.

Com s'observa també, a les gràfiques es mostren les quantitats esperades de metà que hi haurien d'haver a cada mostra. A tots els assajos, aquesta quantitat es troba molt per sota de l'esperada, amb el que es seguiria corroborant la possible opció de que estem treballant a rangs molt propers al límit de la corba de calibratge.

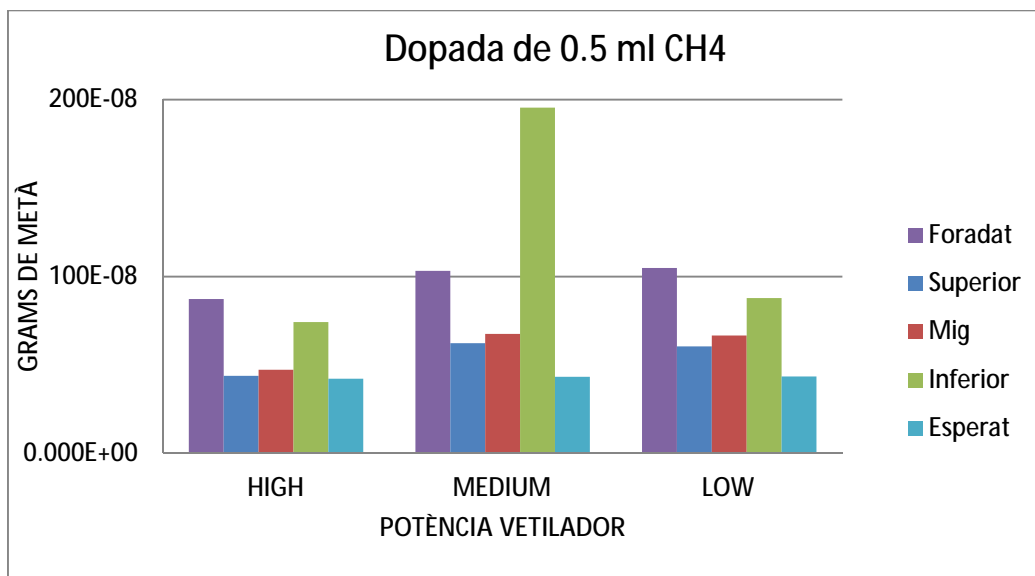
9.2.1.3. Experiment 3. Homogeneització vers la potència del ventilador amb tubs retallats.

Els resultats obtinguts d'aquests assajos han sigut desastrosos, per això no es mostren ni números ni gràfiques perquè les dades han sigut incoherents i en molts casos es sortien de rang de la nova recta de calibratge. Al menys aquests han servit per acabar decidint que la nova recta no serveix per a res i que la antiga es la que es seguirà utilitzant.

Un altre petit assaig que s'ha fet és el mateix que aquest últim, però invertint l'ordre d'extracció de les mostres. Fins ara l'ordre ha sigut inferior, mig, superior. Llavors en aquest es superior, mig, inferior. Això es fa per comprovar si hi ha una explicació en canviar l'ordre d'extracció en referència a la no homogeneïtzació de la cambra. Malauradament els resultats han acabat sent negatius,

9.2.2. Resum gràfic de tots els assajos d'aquest estudi

A continuació es mostren les gràfiques dels resultats obtinguts a cadascun dels assajos realitzats, a mode de resum.



Gràfica 9. Assajos amb dopades de 0.5 ml de metà

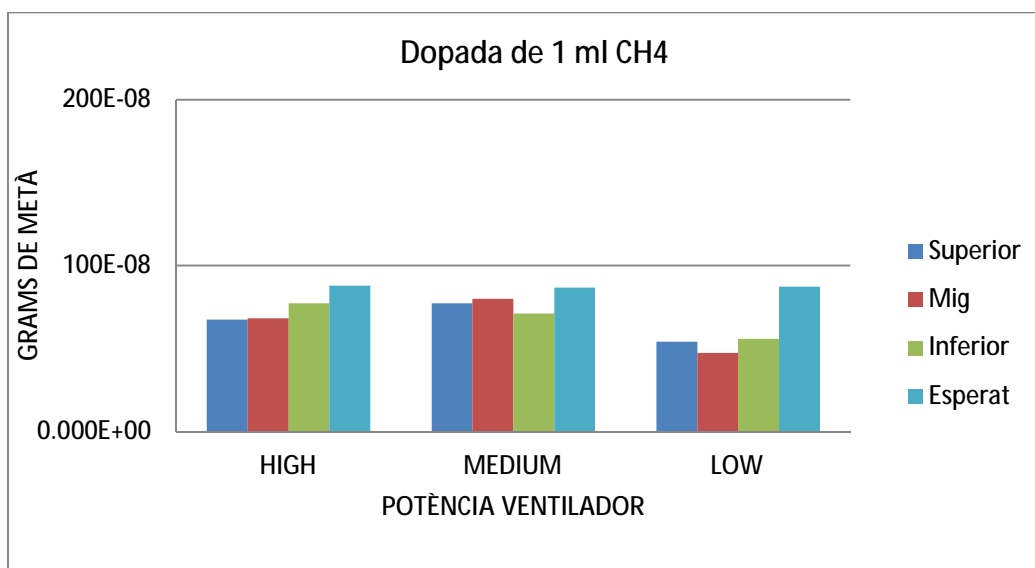
En aquesta gràfica resum de tots els assajos fets amb una dopada de 0.5 ml de metà dins la cambra s'observa el següent:

S'observa que a totes les potències les mostres segueixen més o menys la mateixa tendència on sempre, les mostres extretes per la part inferior són les que més metà tenen, seguides de les mostres extretes pel mig i per últim, les mostres extretes per la part superior. Això és el que corrobora el fet de la estratificació o no homogeneïtzació del metà dins la cambra. És totalment normal que conforme s'avança en altura dins la cambra aquesta concentració en metà vagi disminuint, ja que es recorda que la introducció d'aquest dins la cambra sempre s'ha fet per la part inferior.

No s'entén la raó del punt que més sobresurt d'aquesta sèrie d'assajos, amb una concentració de metà del doble de lo analitzat als altres assajos (potència mitja i extret per la part inferior). Es podria haver donat algun tipus d'error humà, encara que la tendència dels altres assajos es segueix respectant.

Els assajos fets amb el tub foradat han donat millors resultats, encara que no s'ha arribat a solucionar el problema de l'estratificació del metà. Tant a potències baixes i mitges, els resultats obtinguts han sigut molt semblants, però en canvi a potència alta, aquests han sigut més baixos. Això podria explicar que el ventilador a potències altes, encara impedeix més la homogeneïtzació del metà ja que pot crear pertorbacions dins la cambra.

Es pot veure que en tots els casos la quantitat de metà esperada per a tots els assajos ha sigut molt més baixa que el que s'ha analitzat.



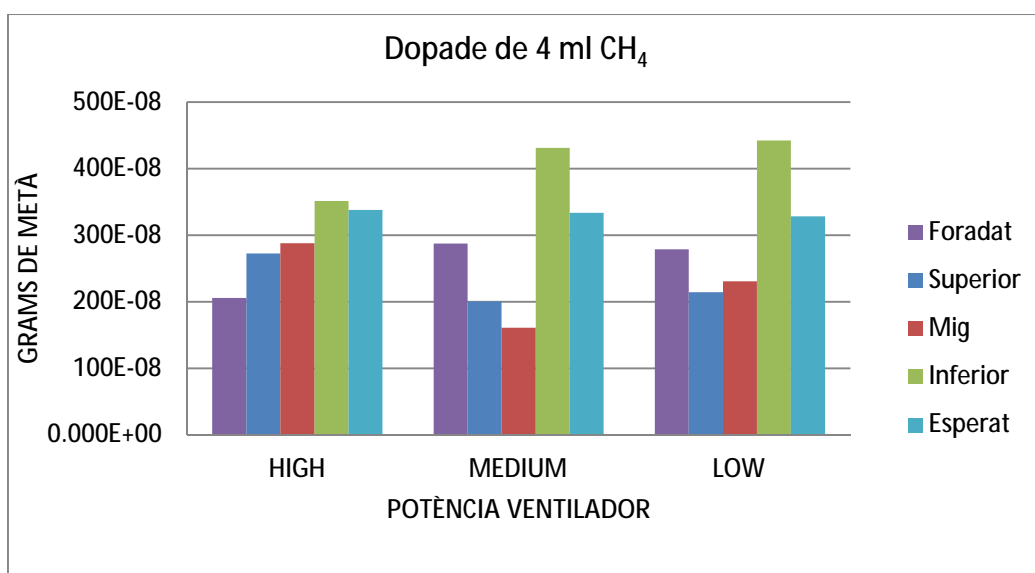
Gràfica 10. Assajos amb dopades de 1 ml de metà

A aquesta gràfica resum de tots els assajos fets amb una dopada de 1 ml de metà dins la cambra s'observa el següent:

A diferència dels assajos amb dopades de 0.5 ml de metà, en aquest cas, la quantitat de metà esperat a tots aquests està una mica per sobre del que s'ha analitzat amb els assajos.

Com és lògic en aquesta sèrie d'assajos tots han donat quantitats més altes de metà que als anteriors, ja que es dopava amb el doble de metà. A gairebé tots, també la quantitat més gran de metà extreta, s'ha fet per la part inferior, en canvi, les mostres extretes per la part del mig i la de dalt han sigut bastant similars, encara que no iguals.

Com s'observa potser els assajos amb potència mitja són els que més similars han donat amb el metà teòric esperat. Encara que a tots els casos segueix havent estratificació.



Gràfica 11. Assajos amb dopades de 4 ml de metà

En aquesta gràfica resum de tots els assajos fets amb una dopada de 4 ml de metà dins la cambra s'observa el següent:

Aquesta sèrie d'assajos són potser els que han donat tendències més diverses, encara no es sap si és perquè la cambra no té les dimensions idònies per a introduir tant de metà o perquè, com s'ha dit anteriorment, s'estava analitzant gairebé als límits de la corba de calibratge.

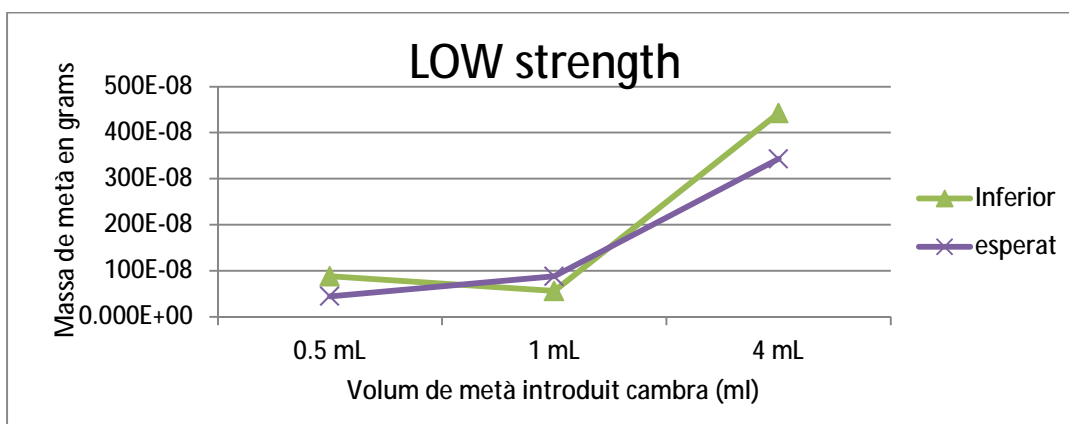
En aquests assajos també es segueix la tendència amb quantitats de metà molt superior a les mostres extretes per la part inferior, seguida de les mostres de part del mig i per últim les mostres de la part superior. És a dir que aquests assajos han seguit una tendència molt igual als realitzats amb dopades de 0.5 ml de metà.

Als tres casos el metà esperat ha sigut més elevat que el que s'ha extret a cada mostra.

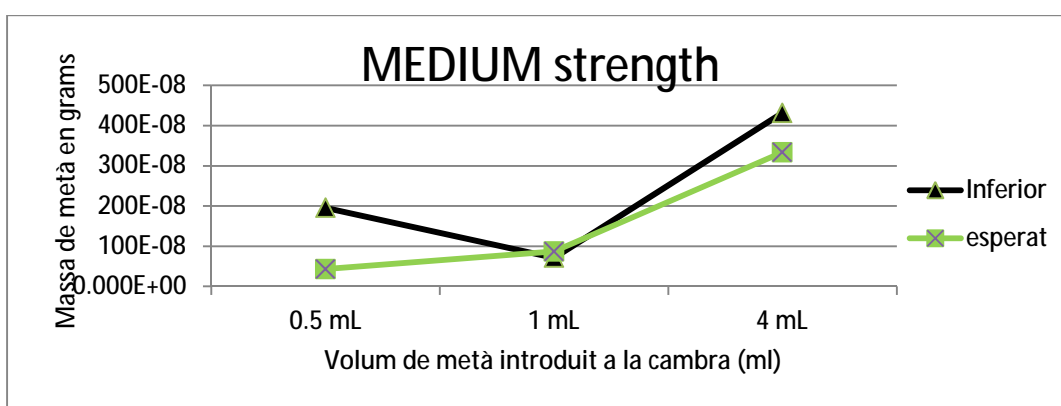
De totes les dopades fetes, s'observa que a "grosso modo" els assajos que resultats més semblants han donat són els realitzats amb dopades de 1 ml de metà, encara que s'aprecien diferències diverses.

A més dels anteriors gràfics, a continuació s'adjunten uns altres, també a mode de resum d'aquest apartat de la tesina, on es mostren per separat les tendències que segueixen les mostres depenent de l'alçada per la què han sigut extretes les mostres i de la potència del ventilador.

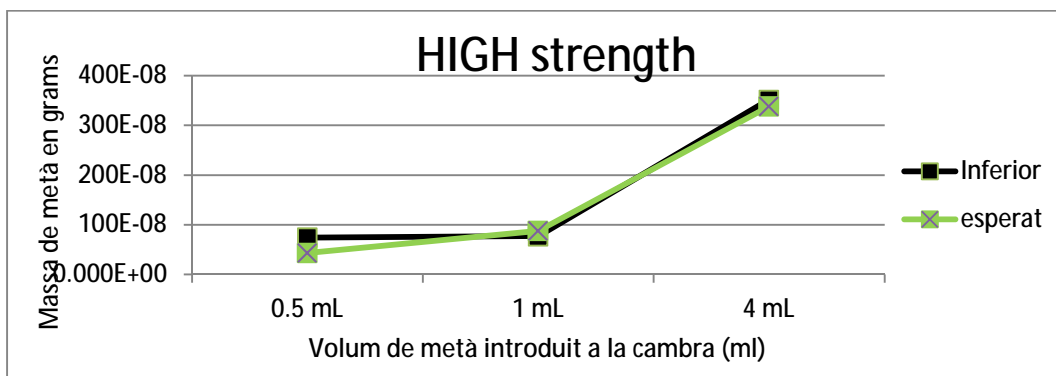
Aquestes tres primeres gràfiques fan referència a les mostres extretes per la part inferior de la cambra, a dopades de 0.5, 1 i 4 ml de metà i a les tres potències del ventilador. En aquestes es pot contemplar la tendència que aquestes segueixen, i la teòrica que haurien d'haver seguit:



Gràfica 12. Massa de metà extreta per la part inferior i a potència baixa

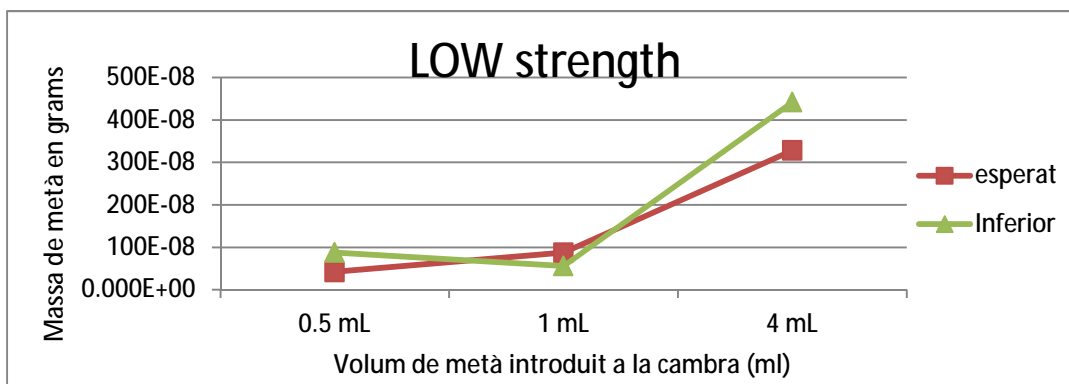


Gràfica 13. Massa de metà extreta per la part inferior i a potència mitja

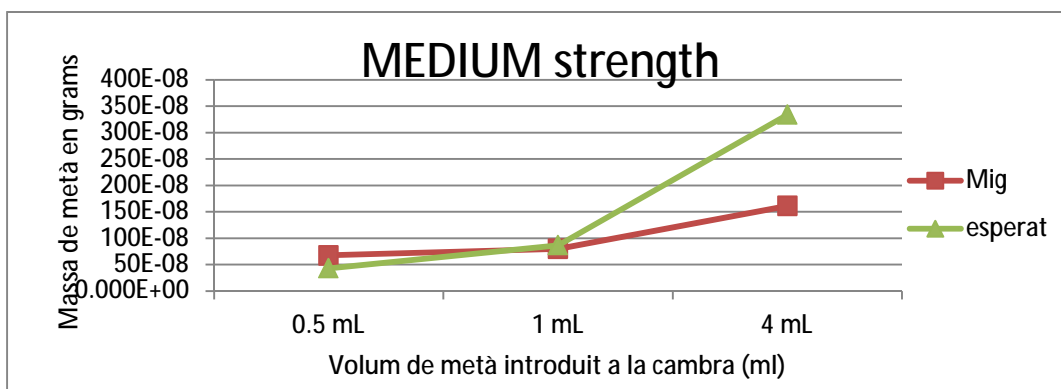


Gràfica 14. Massa de metà extreta per la part inferior i a potència alta

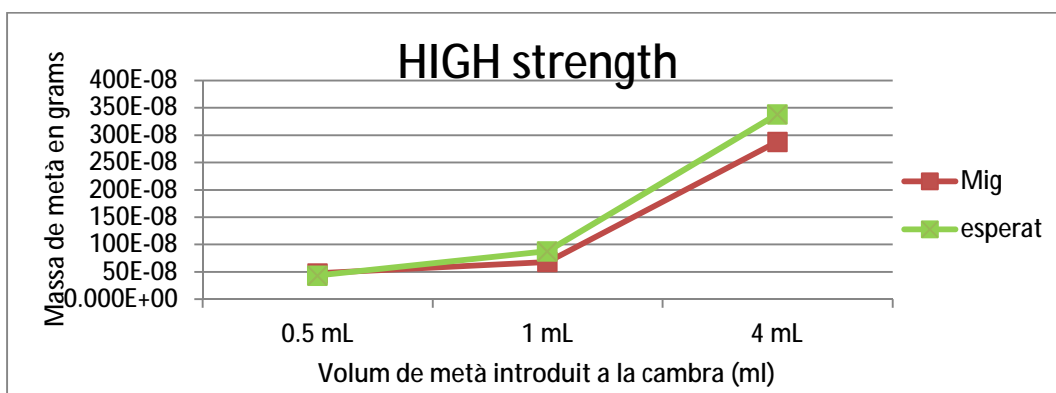
Les següents gràfiques fan referència a les mostres extretes per la part del mig de la cambra, a dopades de 0.5, 1 i 4 ml de metà i a les tres potències del ventilador. En aquestes es pot contemplar la tendència que aquestes segueixen, i la teòrica que haurien d'haver seguit:



Gràfica 15. Massa de metà extreta per la part mitja i a potència baixa

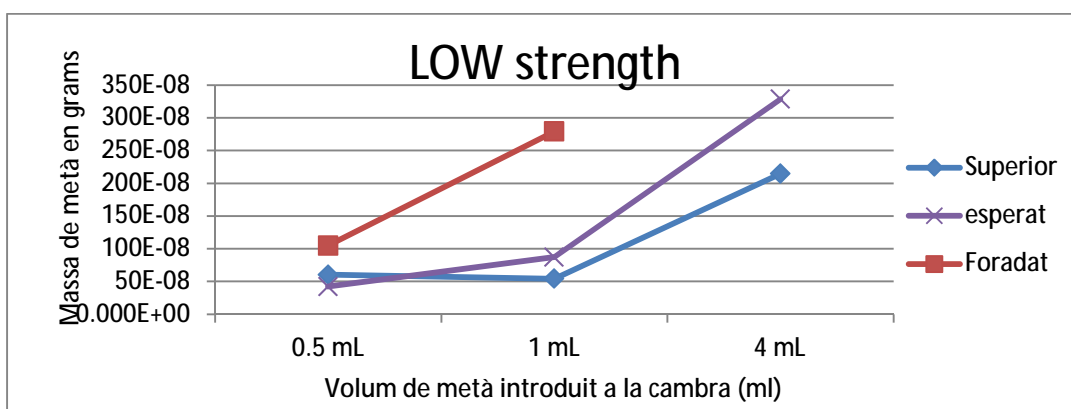


Gràfica 16. Massa de metà extreta per la part mitja i a potència mitja

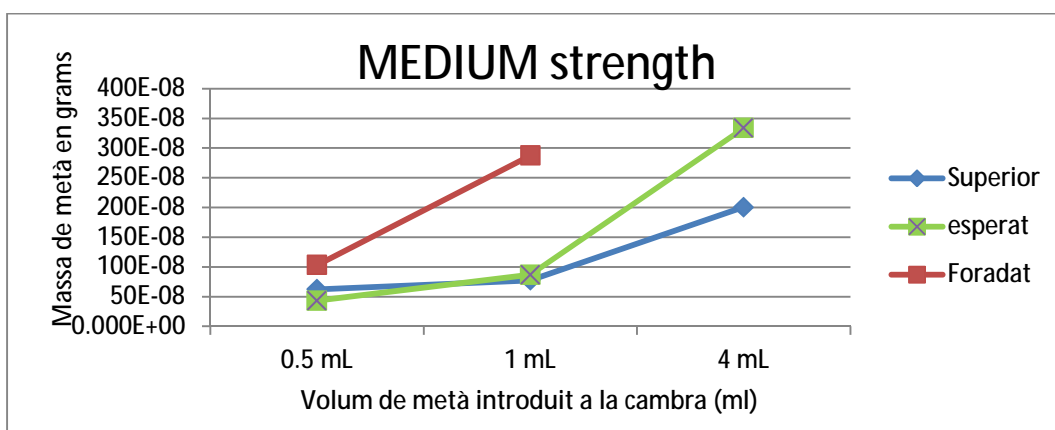


Gràfica 17. Massa de metà extreta per la part mitja i a potència alta

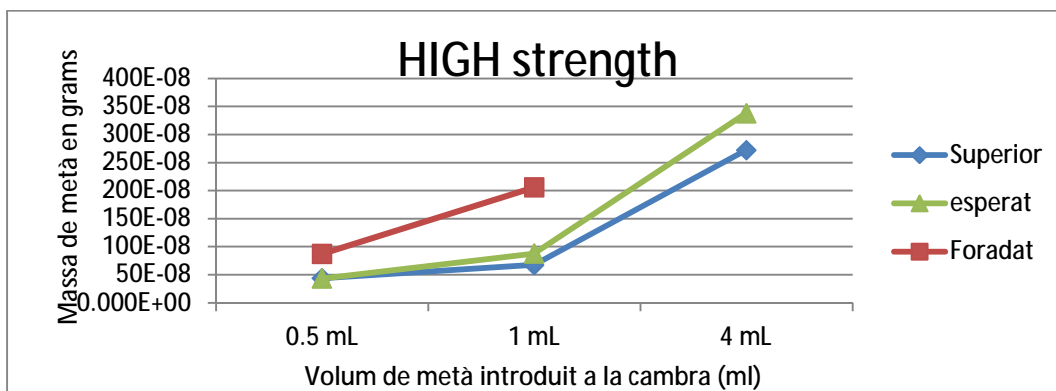
Les següents gràfiques fan referència a les mostres extretes per la part superior de la cambra, a dopades de 0.5, 1 i 4 ml de metà i a les tres potències del ventilador. En aquestes es pot contemplar la tendència que aquestes segueixen, i la teòrica que haurien d'haver seguit:



Gràfica 18. Massa de metà extreta per la part superior i a potència baixa



Gràfica 19. Massa de metà extreta per la part superior i a potència mitja



Gràfica 20. Massa de metà extreta per la part superior i a potència alta

Aquesta manera de presentar els resultats anteriors és una altra forma d'apreciar tot el que abans s'ha comentat en quant a la tendència de les mostres per a cada assaig. Com es pot comprovar, més o menys, totes segueixen una bona tendència, és a dir que gairebé coincideixen amb la tendència esperada teòricament. Les tendències que millor coincideixen amb les teòriques han sigut totes aquelles amb una potència alta del ventilador, encara que totes les altres no difereixen molt dels resultats esperats.

9.3. ESTUDI 3

Tots els experiments d'aquesta part han seguit la mateixa metodologia. Però a mesura que les mostres han sigut analitzades s'ha vist que, dintre de que el comportament de les emissions de l'aiguamoll és correcte, ja que aquestes augmenten amb el temps dins la cambra, aquest augment no es tant notable com s'esperava. És per això que es pensa que possiblement, per les dimensions de la cambra, el temps de mostreig és massa elevat. Llavors, per intentar esbrinar si això és cert, s'ha pensat modificar el temps de mostreig a la meitat, és a dir, que en lloc de extreure mostres cada 10 minuts, arribant a un total de 40 minuts de mostreig, s'extraurà mostres cada 5 minuts arribant a un total de 20 minuts de mostreig.

A continuació es mostren unes taules amb totes les dades obtingudes en aquesta sèrie d'assajos separades pels aiguamolls dotats amb aigua provinent del HUSB i amb aigua provinent dels decantadors:

HUSB							
Minuts	Dies	Juliol		Setembre		Octubre	
		microlitres	mg/m ²	microlitres	mg/m ²	microlitres	mg/m ²
0	0	0,504	1,36355811	0,681	3,15133429	0,841	4,76740316
5	0,00347222	0,507	1,3938594	0,872	5,0805165	1,278	9,18129125
10	0,00694444	0,512	1,44436155	1,074	7,12080344	1,203	8,42375897
15	0,01041667	0,511	1,43426112	0,893	5,29262554	1,12	7,58542324
20	0,01388889	0,523	1,55546628	0,827	4,62599713	1,344	9,84791966

Taula 21. Dades obtingudes dels assajos en aiguamolls amb aigua del HUSB

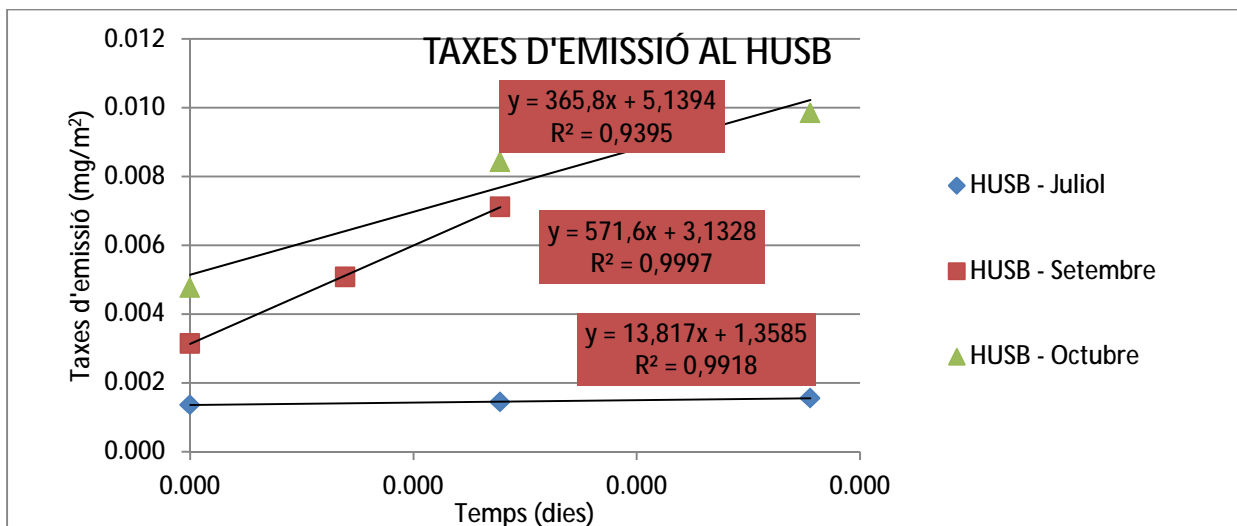
DECANTADOR							
Minuts	Dies	Juliol		Setembre		Octubre	
		microlitres	mg/m ²	microlitres	mg/m ²	microlitres	mg/m ²
0	0	0,503	1,35345768	0,535	1,67667145	0,512	1,44436155
5	0,00347222	0,526	1,58576758	0,542	1,74737446	0,544	1,76757532
10	0,00694444	0,542	1,74737446	0,619	2,5251076	0,539	1,71707317
15	0,01041667	0,556	1,88878049	0,658	2,91902439	0,539	1,71707317
20	0,01388889	0,53	1,6261693	0,754	3,88866571	0,554	1,86857963

Taula 22 Dades obtingudes dels assajos en aiguamolls amb aigua dels decantadors

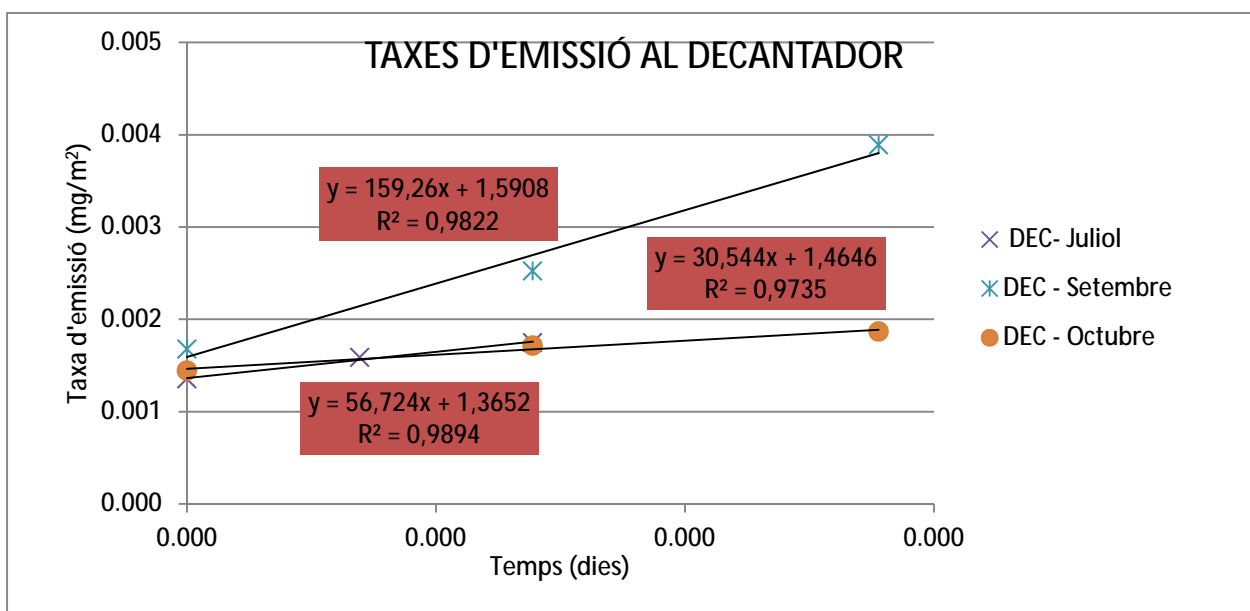
Com s'ha esmentat abans, després de realitzar aquests experiments s'ha observat que els resultats obtinguts de les emissions de metà als aiguamolls no ha sigut l'esperada del tot. S'han obtingut emissions de metà molt baixes. De fet, a la bibliografia consultada, més concretament a Sovik (2006) *"Emission of the Greenhous Gases Nitrous Oxide and Methane From Constructed Wetlands i Europe"*, es parla de les densitats reals de flux en aiguamolls, les quals estan compreses entre -32 i 38.000 mg de CH₄-C/m² i dia. Si ens fixem a la taula anterior, les nostres densitats de flux obtingudes ronden entre els 0.5 i 7 mg de CH₄-C/m² i dia, independentment de quin tipus de tractament primari s'hagi aplicat a l'aigua, ja sigui decantació o hidròlisi de la matèria orgànica. D'aquesta manera s'arriba a la conclusió que les emissions obtingudes als nostres aiguamolls es troben a un rang molt baix. Poden haver dues explicacions per aquest fet:

- 1- Perquè fa poc que els aiguamolls estan en funcionament, ja que es van ficar a funcionar a principis del 2012, quan vam començar la tesina.
- 2- Per les dimensions d'aquest, ja que no són molt grans.

Les gràfiques que es mostren a continuació fan referència a les taxes d'emissió calculades per a cadascun dels aiguamolls:



Gràfica 23. Taxes d'emissió de metà als aiguamolls C1 i C2



Gràfica 24. Taxes d'emissió de metà als aiguamolls CP1 i CP2

D'aquestes dues gràfiques que engloben tots els resultats de les taxes d'emissió obtingudes de fer assajos als aiguamolls construïts se'n poden treure varies conclusions i reflexions.

Primer cal observar que les dades d'aquestes estan separades entre les taxes obtingudes per aiguamolls dotats amb aigua provinent del HUSB i aiguamolls amb aigua provinent dels decantadors. A més aquestes dades han estat separades en diferents campanyes, per una banda per la campanya feta al juliol, l'altra al setembre i l'última a l'octubre. Aquests assajos s'han separat d'aquesta manera, per poder veure la tendència que hi ha a cadascuna d'aquesta per observar la possible influència que té l'estacionalitat i la temperatura sobre les taxes d'emissió dels aiguamolls.

Dit això s'observa que:

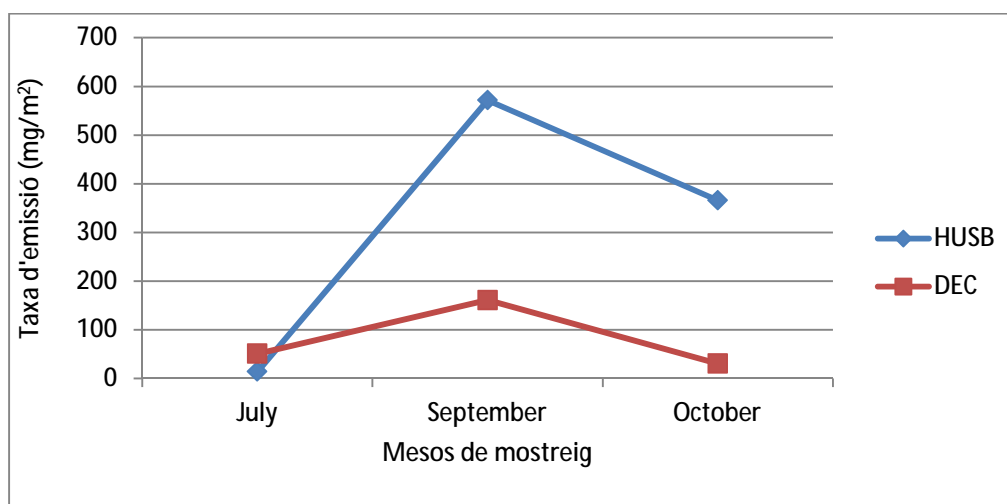
1. Les taxes d'emissió de metà són més altes als aiguamolls amb aigua provinent del HUSB (aiguamolls C1 i C2), que als que depuren aigua dels decantadors (CP1 i CP2). Una possible explicació d'aquest fet pot ser que el HUSB, com a tractament primari, no és tan eficaç com els decantadors, per la qual cosa no eliminen tanta matèria orgànica i aquesta acaba arribant a l'aiguamoll. S'ha comprovat abans que el HUSB té un percentatge d'eliminació de MO del 48.3% front al del decantador que és del 74.0%). Llavors l'aiguamoll durant el seu procés de depuració al tenir el doble de concentració de MO, és lògic que generi el doble de metà degut a la metanogènesi.
2. S'observa un comportament coherent en relació a les emissions de metà per part de els quatre aiguamolls, ja que com és d'esperar, aquestes van augmentant progressivament amb el temps, ja que s'acumulen a la cambra des de l'inici del mostreig fins al final, degut a que durant l'assaig en cap moment s'aireja la cambra.
3. Hi ha certs assajos que presenten menys punts que d'altres. Això és degut a que per motius variis els punts que s'han despreciat eren punts incoherents i erronis.
4. Les emissions obtingudes per als mesos de juliol als quatre aiguamolls presenten les emissions més baixes. Això pot donar-se per varies raons, però segurament la més lògica pot ser que en aquest període és quan es van començar a fer aquest tipus d'experiments i encara el procediment no es tenia controlat totalment i podrien haver sorgit alguns errors humans.
5. Per altra banda es pot veure que a cada una de les línies, les quals representen l'evolució de la concentració de metà dins la cambra en funció del temps s'especifica

l'R-quadrat, el què ens diu el grau de representativitat que té cadascuna de les línies. Es pot veure que totes elles ronden en valors entre 0.93 i 0.99, el que ens diu que tots aquests assajos són bons i tenen una bona representativitat.

6.   s més lògic el comportament que presenten els aiguamolls amb aigua dels decantadors ja que al setembre enregistren taxes d'emiss   més elevades que a l'octubre. Degut a la temperatura, el mes de setembre és bastant més calorós que el mes d'octubre i, per lo tant, les taxes d'emiss   han de ser més elevades.
7. S'observa que els aiguamolls amb aigua tractada abans pels decantadors tenen molt millor rendiment que els aiguamolls amb aigua provinent del HUSB, ja que en referència a les taxes d'emiss   de metà, amb els decantadors s'aconsegueix que aquestes siguin molt més baixes.

Tots els resultats obtinguts en referència a les taxes d'emiss   són bons i correctes, i per tant, les conclusions que se'n treuen d'ells també, ja que es validen a la bibliografia. A la bibliografia està establert que les R^2 associades a les densitats de flux han de ser de com a mínim de 0.9. A tots els casos realitzats les R^2 es troben en rangs d'entre 0.93 i 0.99.

Per corroborar encara més aquest últim punt a continuació es mostra una gràfica on es resumeixen la tendència que segueixen les emissions als aiguamolls depenent del tractament primari i durant mesos de mostreig.



Gràfica 25. Resum de la tendència de les taxes d'emiss   als aiguamolls durant tot el temps d'assaig.

10. CONCLUSIONS

Els resultats obtinguts durant la realització d'aquesta tesina permeten extreure les següents conclusions:

1. Després de dur a terme tot els pertinents assajos, es pot dir que els aiguamolls són un bon i eficient sistema de depuració d'aigües residuals urbanes.
2. En referència al tractament primari al que es sotmet l'aigua: La decantació és molt millor que el H.U.S.B., ja que a tots els assajos realitzats s'han calculat percentatges d'eliminació de contaminants, abans d'entrar l'aigua al aiguamoll per a ser depurada, molt més alts amb la decantació que amb el H.U.S.B.
 - Les dades trobades en quant a concentracions de matèria en suspensió (MES) han sigut més baixes en aigües sotmeses a la decantació que en el H.U.S.B.
 - Les dades trobades en quant a concentracions de matèria orgànica (MO), i més concretament en demanda química d'oxigen (DQO): Les aigües sotmeses a decantació presenten percentatges d'eliminació més alts que en el H.U.S.B. Per a la decantació el percentatge d'eliminació de DQO total és de 74.0% i de DQO soluble és de 35.1%. En canvi per al H.U.S.B. el percentatge d'eliminació de DQO total és de 48.3% i de DQO soluble és de 31.3%.
3. En referència als assajos sobre l'homogeneïtzació del metà dins la cambra, es troba que amb dopades de 0.5 ml i 1 ml de metà, l'homogeneïtzació es bastant correcta, però segueix sense ser bona. En canvi en dopades de 4 ml de metà aquesta presenta variacions molt notables.
4. No es troba una relació directa amb la potència idònia del ventilador per a homogeneïtzar el gas dins la cambra. Encara que mentre la potència no sigui molt elevada, al no generar oscil·lacions dins la cambra, els resultats són millors. És a dir que a potències elevades es creen pertorbacions que dificulten encara més la homogeneïtzació dins aquesta.
5. Les quantitats de metà obtingudes a les simulacions al laboratori han sigut sempre més baixes que les esperades teòricament.
6. S'ha corroborat que l'ordre d'extracció de les mostres no intervé en la homogeneïtzació de la cambra.

7. Les emissions de metà als aiguamolls construïts segueixen un comportament coherent i augmenten en funció del temps.
8. Els aiguamolls dotats amb aigua provinent del HUSB presenten concentracions més altes d'emissió de metà degut a que el HUSB té un percentatge d'eliminació de MO molt més baix que els decantadors, pel que fan que a l'aiguamoll arribin altes concentracions de MO.
9. Es corrobora que els decantadors, com a sistema de tractament primari són més eficients a l'hora de treballar amb aiguamolls, ja que tracten millor l'aigua eliminant més impureses i contaminants que puguin afectar al procés de depuració d'aquesta, i a més, afavoreixen a que els aiguamolls emetin menys metà a l'atmosfera.
10. Tot i que aquests últims experiments han donat resultats favorables, s'ha de dir, per a proper estudis sobre aquest tema, que s'hauria de modificar les dimensions de la cambra, ja que les dimensions de l'actual podrien ser massa petites per acumular el metà que s'ha agut d'analitzar. Aquesta petita modificació seria augmentar l'alçada de la cambra uns quants centímetres.

11. RECOMANACIONS

Després d'haver conclòs tots aquests experimentes, vers la determinació de les emissions de metà en aiguamolls construïts, s'ha de fer una petita recomanació per a posteriors estudis sobre aquest tema. S'ha pogut comprovar, tot i que les emissions de metà sempre han seguit la tendència esperada, però que encara així denotaven una petita limitació. La tendència seguida durant tots els assajos era que el metà augmentava progressivament amb el temps, obtenint una tendència lineal bastant bona. Però la limitació observada ha sigut que potser aquesta progressivitat en relació amb el temps hauria de ser encara més gran a les últimes mostres (mostres preses a temps d'entre 20 a 40 minuts del començament de l'assaig). Això fa pensar que, segurament, les dimensions de la cambra no són les correctes, limitant així al procés de mostreig. Es creu que la cambra pot ser massa petita per poder acumular tanta quantitat de metà. És per aquesta raó, que per a posterior estudis s'hauria d'estudiar unes altres dimensions per a la cambra de mostreig, modificant únicament l'alçada d'aquesta.

A continuació es mostra quin és el volum i dimensions de la cambra actual, i a més, s'especifiquen quines haurien de ser les noves dimensions que hauria de tenir la cambra nova.

Per calcular el volum de la cambra es segueix la següent fórmula:

$$\text{VOLUM CAMBRA (V)} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

On:

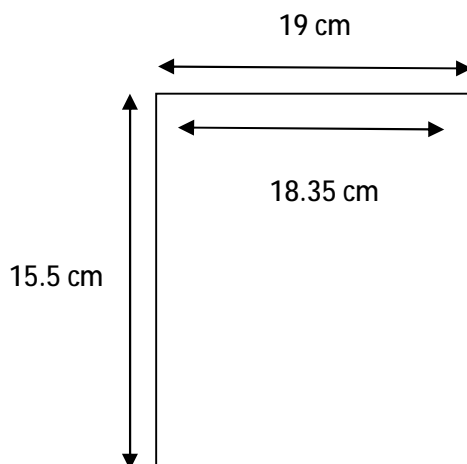
π és el número pi = 3.141516

r^2 és el radi de la cambra

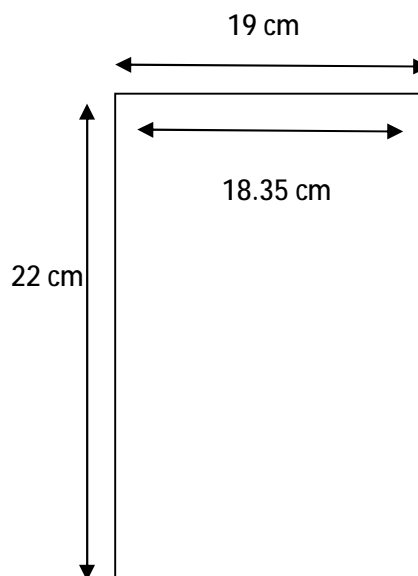
h és l'altura de la cambra

Seguint la fórmula s'obté que les dimensions actuals de la cambra són les que a la següent figura es mostra, al igual que es fa amb les dimensions de la nova cambra que caldria muntar.

DIMENSIONS CAMBRA ACTUAL

*Figura 37. Dimensions cambra actual*

DIMENSIONS CAMBRA NOVA

*Figura 38. Dimensions cambra nova*

Com es pot observar l'única modificació que s'hauria de fer a la cambra és augmentar la seva alçada uns 6.5 cm més. D'aquesta manera es passa de tenir una cambra amb un volum de 4.1 L, a una cambra amb un volum de 5.8 L. S'ha arribat a la conclusió d'haver de modificar únicament l'alçada de la cambra per diversos motius:

5. L'amplada de la cambra no es podia ni augmentar ni reduir ja que estàvem limitats per la zona de mostreig de l'aiguamoll, que és una zona fixa que no es poden variar les seves dimensions d'amplada.
6. Encara que s'hagués modificat l'amplada de la cambra, el volum nou al que s'hagués arribat a aconseguir, no hauria sigut el necessari per a poder fer front a les emissions de metà, ja que aquest volum hauria de rondar els 5.5 L . És per aquesta raó que l'element que s'ha de modificar és únicament l'alçada de la cambra, ja que modificant aquesta s'arriba a obtenir el volum esperat.

12.REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Ø Aguirre, Paula (2004) *"Mecanismos de eliminación de la materia orgánica y de los nutrientes en humedales constuidos de flujo subsuperficial"* DEHMA, UPC, Barcelona.
- Ø Arroyave, A. (2010) *"Efectos del tipo de vegetación y de las variaciones de profundidad en la eficiencia de remoción de patógenos en humedales construidos de flujo subsuperficial"*. Tesis de grado. Universidad tecnológica de Pereira. Facultat de ciencias Ambientales.
- Ø Bécares, Eloy (2004) *"Función de la vegetación y procesos de diseño de humedales construidos de flujo subsuperficial horitzontal y flujo superficial"* Área de Ecología. Facultad de Biología, Universidad de León, 24071 León, España, 2004
- Ø Conen, F.; Smith, K.A. (1998) *"A re-examination of close flux chamber methods for the measurement of trace gas emissions from soils to the atmosphere"* European Journal of Soil Science, December 1998, 49, 701-707.
- Ø Dabberdt, W.F.; Lenschow, D.H.; Horst, T.W.; Zimmerman, P.R.; Oncley, S.P.; Celany, A.C. (1993) *"Atmosphere-Surface Exchange Measurements"* Science. Vol 260. pg. 1472-1481. 4 de Juny de 1993
- Ø García, J., Morató, J., Bayona, J. *"Depuración con sistemas naturales: humedales construidos"*
- Ø García, J.; Aguirre, P.; Mujeriego, R.; Yuming, H.; Ortiz, L.; Bayona, J. (2004) *"Initial contaminant removal performance factors in horitzontal flow reed beds used for treating urban wastewater"*. Water Research 38 (2004) 1669-1678
- Ø García, J.; Aguirre, P.; Barragán, J.; Mujeriego, R.; Matamoros, V.; Bayona, J.; (2005) *"Effect of key design paràmetres on the efficiency of horitzontal subsurface flow constructed wetlands"*. Ecological Engineering 25 (2005) 405-418
- Ø Gracia, J., Corzon, A. (2008) *"Depuración con humedales construidos: Guía práctica de diseño, construcció y explotació de sistemas de humedales de flujo subsuperficial"*. DEHMA, UPC.
- Ø Levy, P.E.; Gray, A.; Leeson, S.R.; Gaiawyn, J.; Kelly, M.P.C.; Cooper, M.D.A.; Dinsmore, K.J.; Jones, S.K.; Sheppard, L.J. (2011) *"Quantification of uncertainty in trace gas fluxes measured by the static chamber method"* European Journal of Soil Science" December 2011, 62, 811-821

-
- Ø Livingston, G.P.; Hutchinson, G.L. (1995) *"Enclosure-based measurement of trace gas Exchange: Applications and sources of error"*. Biogenic Trace Gases: Measuring Emissions from Soil and Water. Matson, P.A.; Harriss, R.C.
 - Ø Moore, T.R.; Roulet, N.T. (1991) *"A comparison of dynamic and static chambers for methane emission measurements from subarctic fens"*. Atmosphere-Ocean, 29:1, 102-109.
 - Ø Puigagut, Jaume; Villaseñor, José; Salas, Juan José; Bécares, Eloy; García, Joan. (2007) *"Subsurface-flow constructed wetlands in Spain for de sanitation of small communities: a comparative study"*. Science Direct. Ecological Engineering 30 (2007) 312-319
 - Ø Solórzano, L. (1969) *"Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method"* Limnol. Oceanogr., 14:799-801
 - Ø Sovik, A. K.; Augustin, J.; Heikkinen, K.; Huttunen, J.T.; Necki, J.M.; Karjallainen, S.M.; Klove, B.; Liikanen, A.; Mander, Ü.; Puustinen, M.; Teiter, S.; Wachniew, P. (2006) *"Emission of the Greenhous Gases Nitrous Oxide and Methane From Constructed Wetlands i Europe"* Journal of Environmental Quality. Publicado por ASA, CSSA i SSSA. Publicat online el 27 d'octubre de 2006.